



**Universidade de Aveiro** Departamento de Química  
Ano 2017

**Patrícia Almeida Santos** **Caracterização de variedades de arroz**





**Patrícia Almeida  
Santos**

## **Caracterização de variedades de arroz**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia – Ramo Industrial e Ambiental, realizada sob a orientação científica da Doutora Ivonne Delgadillo Giraldo, Professora Associada com Agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e do Diogo Barbosa Amorim de Lemos, Responsável pela Direção do Departamento da Qualidade da Empresa Novarroz – Produtos Alimentares, S.A.



## **o júri**

Presidente

**Prof. Doutor Jorge Manuel Alexandre Saraiva**

Investigador auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

**Doutora Carla Alexandra Pina da Cruz Nunes**

Professora auxiliar convidada do Departamento de Ciências Médicas da Universidade de Aveiro

**Prof<sup>a</sup>. Doutora Ivonne Delgadillo Giraldo**

Professora associada com agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Este estágio só foi possível se realizar com o apoio de algumas pessoas, às quais quero deixar os meus profundos agradecimentos:

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Doutora Ivonne Delgadillo por toda a simpatia, apoio, compreensão, ensinamentos e motivação que me transmitiu mesmo quando os resultados pareciam não ser tão positivos.

Ao Diogo Lemos por todo o apoio, confiança, disponibilidade e integração na Novarroz. Agradeço também a simpatia de todos os trabalhadores da fábrica, em especial às técnicas da qualidade da Novarroz pelo carinho e ajuda.

A todos os membros do grupo da Alta Pressão um enorme obrigada pelo apoio, paciência e disponibilidade de equipamentos e reagentes.

Agradeço também à Elisabete Aguiar pela ajuda inicial.

Um agradecimento a todos que me acompanharam e apoiaram ao longo deste mestrado. Aos Memes, e, neste último ano, à Vanessa, Lisa, Leandro e às meninas da Gil...

A todos os amigos mais chegados que me apoiaram com palavras positivas e de conforto ao longo deste ano.

Um obrigado enorme à minha amiga e colega de estágio e laboratório Gina por todo o companheirismo e ajuda nos momentos mais difíceis e por ter estado nos momentos mais felizes.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à minha família, em especial aos meus pais, irmã e avós por me permitirem concretizar este sonho e por me terem apoiado incondicionalmente ao longo desta etapa.

Obrigada a todos por tudo!





## palavras-chave

Arroz, viscosidade, índice glicêmico, retrogradação, amido, amilose.

## resumo

O presente estágio curricular foi realizado em colaboração com a Novarroz, uma empresa cuja principal atividade é a transformação e comercialização de arroz.

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos produtos mais consumidos em todo o mundo, caracterizando-se por ser uma importante fonte de energia e nutrientes.

O presente trabalho pretende definir as características de várias variedades do arroz e determinar as variedades com menor Índice Glicêmico. Foram analisadas variedades conhecidas das subespécies *Indica* e *Japónica*, assim como arroz comercial existente no mercado e declarado como tendo baixo IG de colheitas entre 2011 a 2016.

Verificou-se que as variedades da subespécie *Indica* apresentam uma relação comprimento/largura superior e menores valores de brancura que a subespécie *Japónica*.

Demonstrou-se que o pico da viscosidade é menor nas variedades da subespécie *Indica*, refletindo-se na menor absorção de água ao longo da cozedura do arroz por parte destas variedades. O valor de *breakdown* é superior nas variedades da subespécie *Japónica*, sendo este parâmetro inversamente proporcional com a capacidade em suportar o calor. A subespécie *Indica* tem maiores valores de retrogradação, ou seja, os grânulos de amido gelatinizados reorganizam-se mais facilmente do que dos grânulos de amido gelatinizados da subespécie *Japónica*.

O amido total das variedades estudadas varia entre  $66.6 \pm 0.2\%$  e  $93.8 \pm 2.6\%$ , demonstrando ter valores superiores nas variedades branqueadas. Quando o arroz é imerso em água, durante 1 hora a temperatura ambiente, a percentagem de amido total no grão diminui.

A razão amilose/amilopectina, parâmetro muito importante no comportamento do arroz, é superior nas variedades da subespécie *Indica* e variedades comerciais.

O conteúdo proteico é superior nas variedades da subespécie *Indica*, ocorrendo também a diminuição de conteúdo proteico quando imerso.

O Índice Glicêmico das variedades varia entre  $63.4 \pm 0.7$  e  $86.5 \pm 1.4$ . Quando os grãos de arroz são imersos, o valor do índice glicêmico diminui na maioria das variedades. Depois dos grãos imersos, a variedade *Indica* 18-16 é a que apresenta menor valor de índice glicêmico ( $IG = 62.2 \pm 0.7$ ).



## keywords

Rice, viscosity, glycemic index, retrogradation, starch, amylose.

## abstract

This curricular internship was carried out in collaboration with Novarroz, a company whose main activity is the processing and the marketing of rice. The rice (*Oryza sativa*) is one of the most consumed products in the world. It is an important source of energy and nutrients.

The present work intends to define the characteristics of rice varieties and determine varieties of rice with lower Glycaemic Index. The varieties analysed were *Indica* and *Japónica* subspecies and rice varieties on market as low GI, of harvests from 2011 a 2016.

It has been found that the varieties of the *Indica* subspecies have a higher length/width ratio and lower whiteness values than *Japonica* subspecies.

The viscosity peak is lower in the *Indica* subspecies, reflecting the lower absorption of water during the cooking rice. The breakdown value is higher in varieties of *Japonica* subspecies and is inversely proportional to the capacity to withstand heat. The *Indica* subspecies has higher setback values, then the gelatinized starch granules are more easily rearranged than the gelatinized starch granules of *Japonica* subspecies.

The total starch of the studied varieties varies between  $66.6\pm0.2\%$  and  $93.8\pm2.6\%$ , showing have higher values in the milled rice varieties. When the rice is immersed in water for 1 hour, the percentage of total starch in the grain reduces.

The amylose/amylopectin ratio, a very important parameter in rice behaviour, is higher in *Indica* subspecies and commercial varieties.

The protein content is higher in *Indica* subspecies also occur the decrease of protein content when the grains are immersed.

The glycaemic index range between  $63.4\pm0.7$  and  $86.5\pm1.4$ . When the rice grains are immersed, the glycaemic index value decreases. After the immersed grains, the variety Indica 18-16 has the lowest glycaemic index value ( $IG=62.2\pm0.7$ ).



Índice .....	i
Índice de Figuras.....	iv
Índice de Tabelas .....	vii
Lista de abreviaturas .....	viii
1. Introdução e Objetivos.....	1
2. Arroz .....	3
2.1 Caracterização do arroz .....	3
2.1.1 <i>Oryza</i> .....	3
2.1.2 Estrutura do grão.....	4
2.1.3 Composição nutricional do grão .....	6
2.2 Efeito da imersão no arroz.....	15
2.3 Sistemas de cultivo do arroz .....	16
2.4 Produção de arroz .....	17
2.5 Consumo de arroz.....	17
3. Índice Glicémico.....	19
3.1 Diabetes Mellitus Tipo II.....	20
4. Estágio em âmbito industrial .....	22
4.1 Novarroz – Produtos Alimentares, S. A. ....	22
4.2 Legislação relativa ao arroz .....	22
4.3 Processo industrial.....	25
4.4 Atividades desenvolvidas .....	27
5. Material e metodologias.....	29
5.1 Amostras de arroz.....	29
5.2 Determinação das características físicas do arroz .....	30
5.3 Determinação das propriedades reológicas do arroz .....	32
5.4 Determinação da humidade do arroz .....	34
5.5 Determinação do conteúdo em amido .....	34
5.5.1 Soluções .....	34

5.5.2	Metodologia de determinação do conteúdo em amido total .....	35
5.5.3	Metodologia de determinação do conteúdo em amilose.....	36
5.5.4	Metodologia de determinação de amilopectina .....	37
5.5.5	Metodologia de determinação do conteúdo em amido resistente .....	37
5.6	Determinação do conteúdo em proteína .....	38
5.7	Determinação do Índice Glicémico .....	38
5.7.1	Soluções .....	38
5.7.2	Metodologia de hidrólise para determinação do Índice Glicémico .....	39
5.8	Imersão do grão de arroz em água.....	40
5.9	Análise por espectroscopia de infravermelho.....	41
5.10	Análise estatística .....	41
6.	Resultados e discussão .....	42
6.1	Características físicas do arroz .....	42
6.2	Propriedades reológicas do arroz.....	46
6.3	Humidade do arroz .....	59
6.3.1	Sem imersão em água .....	59
6.3.2	Com imersão em água.....	60
6.4	Conteúdo em amido.....	61
6.4.1	Conteúdo em amido total.....	61
6.4.2	Conteúdo em amilose.....	63
6.4.3	Conteúdo em amilopectina .....	69
6.4.4	Conteúdo em amido resistente .....	71
6.5	Conteúdo em proteína.....	74
6.6	Índice Glicémico.....	77
6.7	Água de imersão .....	81
7.	Conclusões .....	84
8.	Referências.....	87
9.	Anexos .....	107
9.1	Características físicas das variedades (sem imersão) .....	108
9.2	Propriedades reológicas das variedades (sem imersão).....	109

9.3	Caracterização química das variedades (sem imersão) .....	110
9.4	Caracterização química das variedades (com imersão durante 1 hora a temperatura ambiente) .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1 Representação das subespécies Indica e Japonica (adaptado de [10]).	3
Figura 2 Fases de crescimento da planta (adaptado de [11]).	4
Figura 3 Secção longitudinal do grão de arroz (adaptado de [13]).	5
Figura 4 Composição mássica dos constituintes do grão de arroz [14].	5
Figura 5 Constituição da subcamada de endosperma contígua à camada de aleurona (adaptado de [17]).	6
Figura 6 Composição nutricional do arroz [18].	6
Figura 7 Principais componentes do grão integral depois de branqueado (adaptado de [19]).	7
Figura 8 Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b) [24].	8
Figura 9 Estrutura de um cluster de amilopectina [35].	10
Figura 10 Estrutura do grânulo do amido do arroz (adaptado de [45]).	11
Figura 11 Produção de arroz em casca em 2014 [112].	17
Figura 12 Consumo de arroz a nível mundial (adaptado de [115]).	18
Figura 13 Consumo de arroz <i>per capita</i> a nível mundial e no continente asiático (adaptado de [112,115]).	18
Figura 14 Logótipo da Novarroz [144].	22
Figura 15 Classificação dos grãos de arroz branqueado segundo o seu comprimento (adaptado de [148]).	23
Figura 16 Equipamentos de descasque, branqueamento e triagem de grãos em escala laboratorial.	26
Figura 17 Analisador Estatístico de Arroz S21 [151].	31
Figura 18 Medidor do grau de brancura ( <i>kett</i> ).	31
Figura 19 Equipamento RVA.	32
Figura 20 Perfil típico do ensaio RVA.	33
Figura 21 Comprimento, largura e respetiva razão comprimento/largura.	42
Figura 22 Correlação positiva entre o comprimento do grão e a razão comprimento/largura (a) e correlação negativa entre a largura e a razão comprimento/largura (b).	43
Figura 23 Brancura das variedades estudadas (brancura total, vítrea e <i>kett</i> ).	44
Figura 24 Grau de brancura das variedades estudadas e respetiva área gessada.	45



Figura 25 Evolução da estrutura dos grânulos de amido ao longo de um ensaio RVA (adaptado de [179]).....	46
Figura 26 Perfil típico de um ensaio RVA (adaptado de [180]).....	47
Figura 27 RVA das subespécies <i>Indica</i> (a), <i>Japónica</i> (b) e Comercial (c). ....	48
Figura 28 Parâmetro <i>Pasting temperature</i> fornecido pelo RVA e respetiva análise e determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). ....	49
Figura 29 Parâmetro Pico da viscosidade fornecido pelo RVA e respetiva análise e determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). ....	50
Figura 30 Parâmetro Tempo do pico da viscosidade fornecido pelo RVA e respetiva análise e determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). ....	52
Figura 31 Parâmetro Vala da viscosidade fornecido pelo RVA e respetiva análise e determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). ....	53
Figura 32 Relação de <i>Pearson</i> positiva ( $p < 0.05$ ) entre a Vala da viscosidade e o Pico da viscosidade.....	54
Figura 33 Parâmetro <i>Breakdown</i> fornecido pelo RVA e respetiva análise e determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). ....	55
Figura 34 Parâmetro Viscosidade final fornecido pelo RVA e respetiva análise e determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). ....	56
Figura 35 Parâmetro Retrogradação fornecido pelo RVA e respetiva análise e determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). ....	58
Figura 36 Humidade das amostras de arroz estudadas. ....	59
Figura 37 Humidade das amostras de arroz submetidas a imersão em água durante 1 hora. ....	60
Figura 38 Representação das variedades Indica 9-15 (a) e Indica 9-16 (b) depois de imersas durante 1 hora, a temperatura ambiente. ....	61
Figura 39 Conteúdo de amido total (% em matéria seca) por grão de arroz e respetiva determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). ....	62
Figura 40 Conteúdo em amido total (% em matéria seca) do arroz com e sem imersão em água durante 1 hora.....	63
Figura 41 Conteúdo de amilose (% em matéria seca) por grão de arroz e respetiva determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). ....	64
Figura 42 Conteúdo de amilose / amido total, por grão de arroz.....	67
Figura 43 Conteúdo em amilose (% em matéria seca) do arroz com e sem imersão em água durante 1 hora.....	68

Figura 44 Conteúdo de amilopectina (% em matéria seca) e respetiva determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). .....	69
Figura 45 Conteúdo de amido resistente (% em matéria seca) por grão de arroz e respetiva determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). .....	71
Figura 46 Conteúdo de amido resistente por conteúdo de amido total por grão de arroz e respetiva determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). .....	73
Figura 47 Conteúdo de amido resistente (% em matéria seca) por grão de arroz sem imersão e com imersão em água durante 1 hora. ....	74
Figura 48 Conteúdo de proteína (% em matéria seca) por grão de arroz e respetiva determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). .....	75
Figura 49 Conteúdo em proteína (% em matéria seca) do arroz com e sem imersão em água durante 1 hora. ....	76
Figura 50 Curva da hidrólise do amido (% em matéria seca) das referências pão branco (a) e da glucose (b). ....	77
Figura 51 Índice Glicémico das amostras estudadas tendo como referência o pão branco e a glucose. ....	78
Figura 52 Valores do Índice Glicémico das amostras estudadas e respetiva determinação de <i>Tuckey</i> HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ). .....	79
Figura 53 Valores do Índice Glicémico do arroz com e sem imersão em água durante 1 hora. ....	80
Figura 54 Espectro de infravermelho da variedade Comercial-M16 depois de imersa e respetiva água de imersão. ....	82
Figura 55 Espectro de infravermelho e respetivas diferenças entre a água de imersão e o arroz depois de imerso. ....	83

Tabela 1 Comparação dos valores nutricionais do arroz integral, arroz branqueado e sêmea de arroz [20–22].....	7
Tabela 2 Amostras utilizadas no presente estudo e respetiva caracterização e colheita .....	29
Tabela 3 Tempo, temperatura e rotação ao longo dos ciclos para determinação da viscosidade do arroz [153].....	33
Tabela 4 Classificação das variedades de arroz sem imersão em água, segundo a quantidade de amilose. ....	65
Tabela 5 Razão amilose/ amilopectina das variedades com e sem imersão. ....	70
Tabela 6 Quantidade de amido resistente (% em matéria seca) segundo a classificação em amilose. ....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS

---

AACC	<i>American Association of Cereals Chemistry</i>
ANOVA	Análise De Variância
AOAC	<i>Association of Official Analytical Chemists</i>
ATR	<i>Attenuated Total Reflectance</i>
CL	Comprimento médio
BRC	<i>Bristish Retail Consortium</i>
DP <sub>n</sub>	Número médio do grau de polimerização
DP <sub>w</sub>	Média ponderada do grau de polimerização
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
FTIR	<i>Fourier-Transform Infrared Spectroscopy</i>
HACCP	<i>Hazard Analysis and Critical Control Point</i>
HSD	<i>Honestly Significant Difference</i>
IH	Índice de Hidrólise
IG	Índice Glicémico
IFS	<i>International Featured Standard</i>
IRRI	<i>International Rice Research Institute</i>
OGM	Organismo Geneticamente Modificado
PME	Pequena e Média Empresa
RVA	<i>Rapid Viscosity Analyser</i>
SGS	<i>Société Générale de Surveillance</i>
TCW	<i>Thermocline for Windows</i>
UFC	Unidades Formadoras De Colónias
UV	Ultra-Violeta
VIS	Visível

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

---

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do Mestrado em Biotecnologia Industrial e Ambiental da Universidade de Aveiro em parceria com a empresa Novarroz – Produtos Alimentares, S.A.

Os objetivos deste trabalho são:

- estudar física e quimicamente várias variedades de arroz;
- determinar variedades com baixo Índice Glicémico;
- adquirir competências e experiências profissionais.

Cerca de 150 milhões de pessoas em todo o mundo padecem de diabetes, sendo recomendado a não ingestão de alimentos ricos em hidratos de carbono, como é o caso do arroz. De modo a melhorar a qualidade de vida da população e satisfazer da melhor forma as preferências dos consumidores, a Novarroz pretende alargar o seu leque de ofertas com produtos cada vez mais saudáveis, existindo uma ativa procura de novas variedades e desenvolvimentos para melhorar as características nutricionais do arroz.

Todos os estudos afetos à inovação e desenvolvimento são essenciais para garantir a vanguarda e competitividade junto da concorrência, demonstrando-se cruciais para o bom nome e crescimento da empresa.

Este estágio em ambiente industrial permitiu fazer a conexão entre o *know-how* empresarial e o conhecimento académico. O estágio decorreu na unidade fabril para aquisição de conhecimentos referentes ao produto e determinação das características físicas do arroz, decorrendo também nos Laboratórios da Universidade de Aveiro de modo a realizarem-se ensaios mais específicos para determinação das características químicas e nutricionais de várias variedades de arroz.

O presente trabalho divide-se em duas partes, nomeadamente, a primeira na qual são abordadas várias noções sobre o arroz e seus constituintes e legislação associada. Na segunda parte são enumerados os vários parâmetros físicos, químicos e nutricionais para a caracterização das variedades de arroz sem imersão e quando se submetem os grãos à imersão em água a temperatura ambiente.

Utilizaram-se variedades de colheitas antigas e mais recentes, estando no estado branqueado e em película. Usaram-se também referências que já se encontram no mercado como tendo baixo IG. Estas foram caracterizadas fisicamente e em termos

reológicos (ensaios realizados na Novarroz). Os testes de determinação de amido (total e resistente e amilose), o conteúdo em proteína e a quantificação do IG foram realizados na Universidade de Aveiro.

## 2. ARROZ

### 2.1 Caracterização do arroz

#### 2.1.1 *Oryza*

O arroz pertence à família *Gramineæ* (*Poaceae*), género *Oryza*, cujas espécies *Oryza sativa* (oriunda do continente asiático) e *Oryza glaberrima* (proveniente do continente africano) são as mais conhecidas e cultiváveis [1–4]. As restantes vinte espécies provenientes do género *Oryza* são consideradas selvagens [5]. Atualmente, a *Oryza sativa* é cultivada no continente asiático, americano, europeu e africano ao contrário da *Oryza glaberrima* que apenas é cultivada no continente africano [5].

Devido ao processo evolutivo da espécie *Oryza sativa*, surgiram novas subespécies, sendo as numerosas variedades agrupadas em três grupos: os *Indica*, os *Japónica* e os *Fragrantes*, sendo 80% do arroz cultivado pertencente à subespécie *Indica* [4,6,7].

A subespécie *Indica* é proveniente de climas tropicais, cujos grãos caracterizam-se por serem médios a longos e estreitos e por possuírem quantidades de amilose (polímero de cadeia linear) superiores aos *Japónica* e, por isso, quando cozidos, possuem uma textura solta e sólida, absorvendo pouca água [8,9].

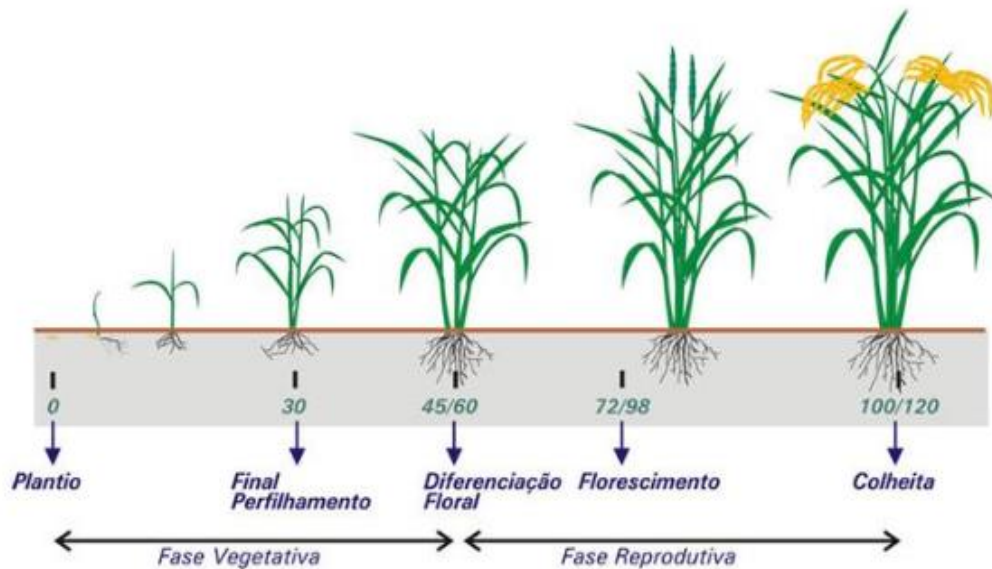
A subespécie *Japónica*, cujos grãos são curtos e largos, é mais tolerante a temperaturas frias, contudo, é mais vulnerável a secas e pragas [8]. Como a subespécie *Japónica* possui um teor de amilopectina elevado, quando cozidos, os grãos são mais gelatinosos, absorvendo mais água, característica desejável nos pratos mediterrâneos e asiáticos [9].

Na Figura 1 encontram-se representados os grãos característicos das subespécies *Indica* e *Japónica*, evidenciando-se as diferenças no tamanho e forma do grão.



**Figura 1** Representação das subespécies *Indica* e *Japónica* (adaptado de [10]).

A cultura do arroz é de colheita anual, podendo o seu ciclo variar entre 100 e 140 dias dependendo das condições ambientais em que este é cultivado. Se existirem condições favoráveis, pode-se obter grãos mais do que uma vez ao ano [1]. Na Figura 2 encontram-se evidenciadas as duas fases de crescimento da planta: a fase vegetativa na qual a planta absorve nutrientes e a fase reprodutora na qual ocorre a autofecundação da mesma.



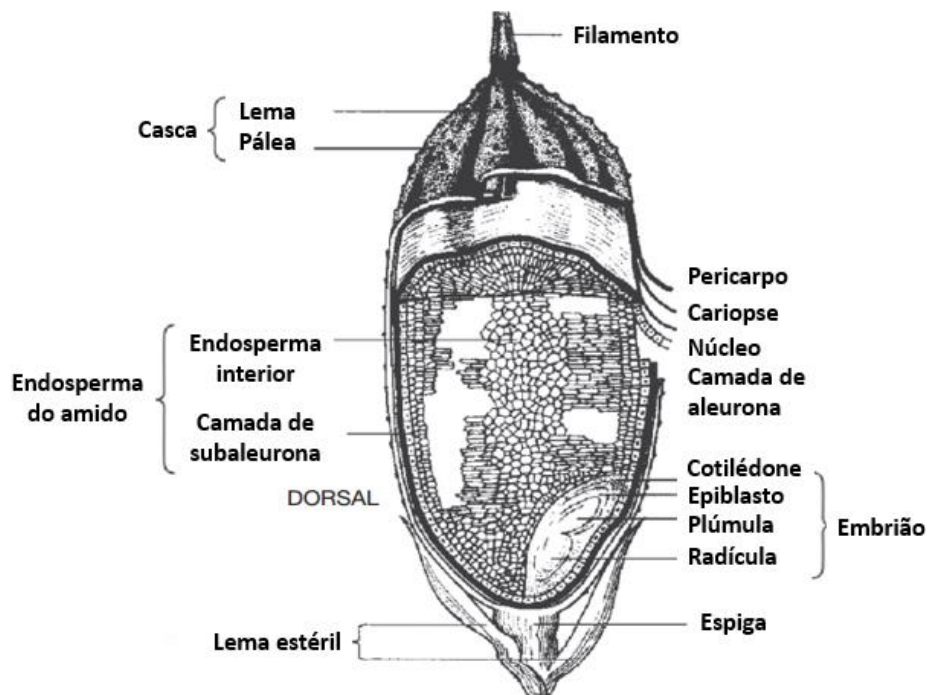
**Figura 2** Fases de crescimento da planta (adaptado de [11]).

### 2.1.2 Estrutura do grão

O grão de arroz é composto por uma camada exterior protetora, a casca, e pelo cariopse, vulgo arroz integral. O arroz integral é constituído por camadas exteriores do pericarpo (camada resistente à água que detém o pigmento do grão), revestimento da semente, núcleo, germe ou embrião (correspondente aos tecidos maternos) e endosperma. Por sua vez, o endosperma, rico em amido, é formado por endosperma interior e por camadas celulares periféricas de aleurona que circundam o embrião [12].

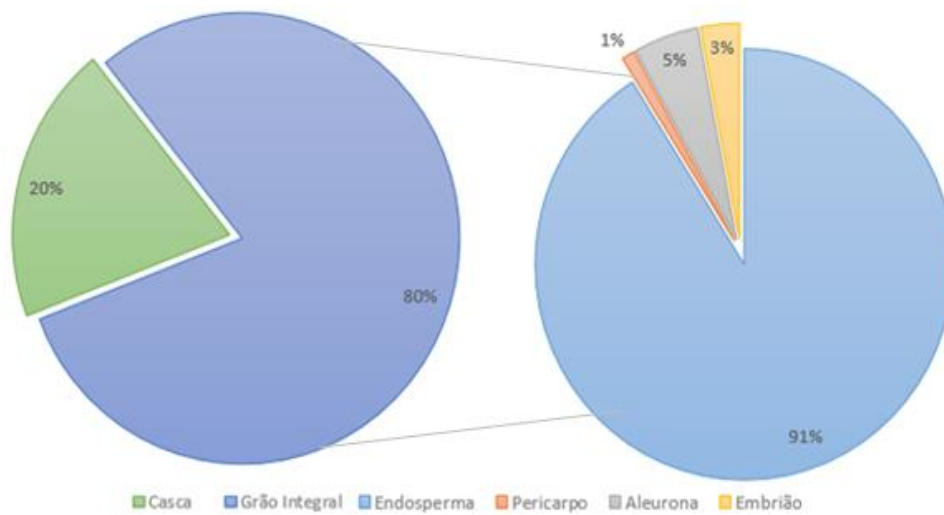
Na Figura 3 encontram-se representados os vários constituintes do grão de arroz.





**Figura 3** Secção longitudinal do grão de arroz (adaptado de [13]).

O arroz integral é constituído na sua maioria por endosperma (entre 90 a 91% do peso do grão), sendo o pericarpo o que menos influencia o peso do grão (1 a 2% do peso do grão) [14], como evidenciado na Figura 4.

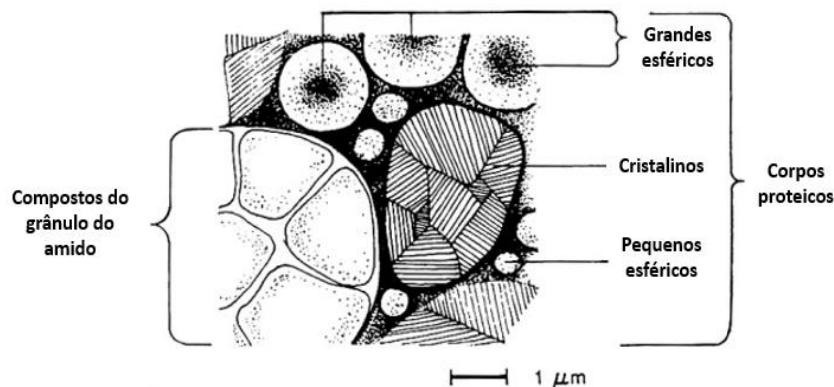


**Figura 4** Composição mássica dos constituintes do grão de arroz [14].

As células presentes no endosperma caracterizam-se por terem paredes celulares finas e encontrarem-se completamente preenchidas por grânulos de amido. Os grânulos de amido, de estrutura poliédrica, distribuem-se segundo um eixo, tendo entre 3 a 9  $\mu\text{m}$  de tamanho [15,16]. As camadas do endosperma adjacentes à camada de aleurona são ricas

em proteínas e lípidos, podendo variar entre uma a cinco células por camada, sendo estas mais espessas em grãos mais pequenos e segundo a sua orientação dorsal [15].

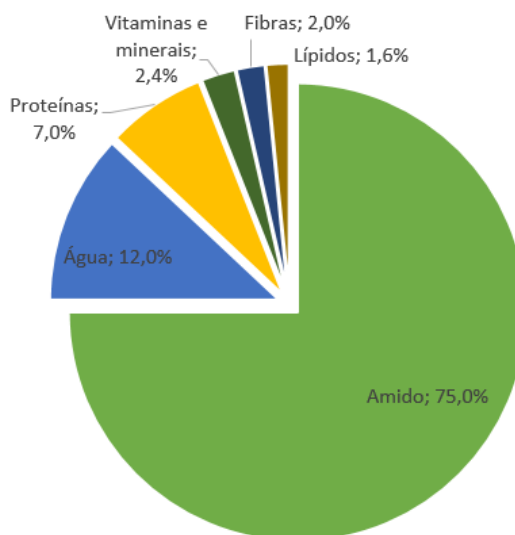
Na Figura 5 evidencia-se a organização esquemática da subcamada de endosperma contígua à camada de aleurona presente no endosperma do grão de arroz.



**Figura 5** Constituição da subcamada de endosperma contígua à camada de aleurona (adaptado de [17]).

### 2.1.3 Composição nutricional do grão

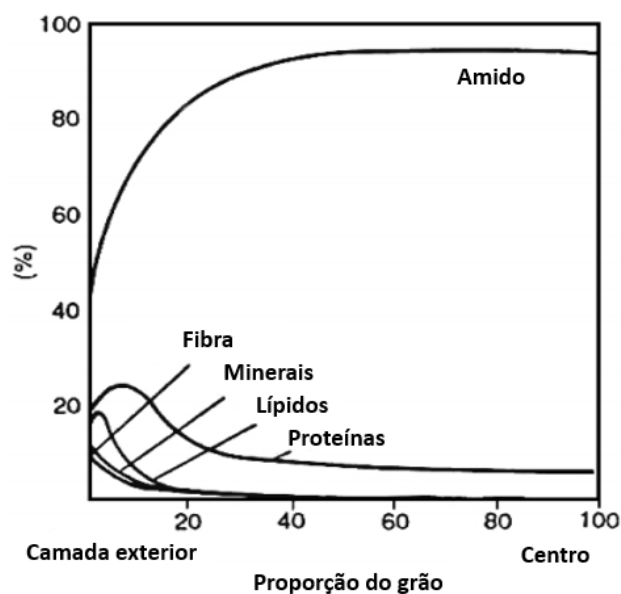
O arroz, um dos produtos mais consumidos em todo o mundo, caracteriza-se por ser uma fonte de energia, proteínas e hidratos de carbono. O grão de arroz é composto por 75% de amido, 12% de água e 7% de proteínas, existindo outros constituintes em menores quantidades [18]. Na Figura 6 encontram-se representadas as composições nutricionais do grão de arroz.



**Figura 6** Composição nutricional do arroz [18].

Durante o processo de descasque e branqueamento do arroz, grande parte dos compostos nutricionais é perdida, uma vez que são aplicadas forças abrasivas para

remover a casca e outros constituintes do arroz, como o pericarpo, embrião e camadas de aleurona (camadas exteriores do grão). Como consequência, o grão branqueado é rico em hidratos de carbono, destacando-se o amido, como evidenciado na Figura 7.



**Figura 7** Principais componentes do grão integral depois de branqueado (adaptado de [19]).

Na Tabela 1 encontram-se mencionados os vários compostos nutricionais do arroz integral, arroz branqueado e da sêmea de arroz.

**Tabela 1** Comparação dos valores nutricionais do arroz integral, arroz branqueado e sêmea de arroz [20–22].

*Quantidade (por 100g)*

<b>Propriedade</b>	<b>Arroz Integral</b>	<b>Arroz Branqueado</b>	<b>Sêmea de Arroz</b>
Humidade (g)	14.0	14.0	14.0
Conteúdo energético (kJ)	1480.0-1610.0	1460.0-1560.0	1670.0-1990.0
Conteúdo energético (kcal)	355.0-385.0	349.0-373.0	399.0-476.0
Proteína bruta (g)	7.1-8.3	6.3-7.1	11.3-14.9
Gordura bruta (g)	1.6-2.8	0.3-0.6	15.0-19.7
Fibra bruta (g)	0.6-1.0	0.2-0.5	7.0-11.4
Cinzas brutas (g)	1.0-1.5	0.3-0.8	6.6-9.9
Hidratos de carbono (g)	73.0-87.0	77.0-89.0	34.0-62.0
Total de fibras alimentares (g)	2.9-4.4	0.7-2.7	24.0-29.0
Fibras insolúveis na água (g)	2.0	0.5	15.0-27.0
Açúcares (g)	0.8-1.9	0.1-0.5	5.5-6.9
Tiamina (mg)	0.4-0.6	0.07-0.17	1.2-5.5

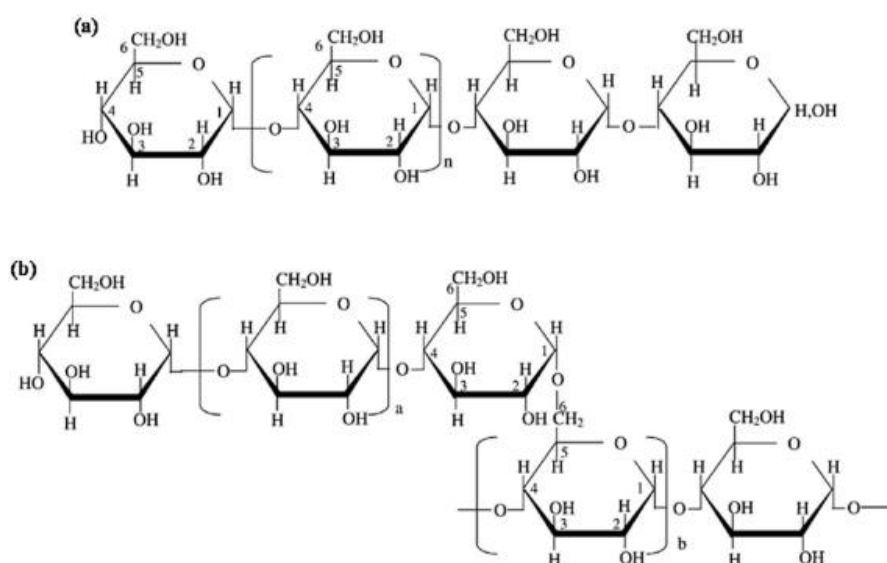
Riboflavina (mg)	0.04-0.14	0.02-0.06	0.18-0.43
Niacina (mg)	3.5-6.2	1.3-2.5	27.0-50.0
Ácido pantoténico (mg)	1.4-1.6	0.8-1.3	20.0-60.0
Vitamina B <sub>6</sub> (mg)	0.5-0.7	0.1-0.4	3.7
Folato (µg)	16.0-20.0	4.0-9.0	40.0-140.0
Vitamina E, α-tocoferol (mg)	0.8-2.5	0.1-0.3	3.0-15.0
Cálcio (mg)	10.0-50.0	10.0-30.0	30.0-120.0
Fósforo (mg)	0.17-0.43	0.08-0.15	1.1-2.5
Ácido fítico (mg)	0.13-0.27	0.02-0.07	0.9-2.2
Ferro (mg)	1.4-5.2	0.3-0.8	8.6-43.0
Zinco (mg)	1.9-2.8	0.8-2.3	4.3-26.0

Efetivamente, a sêmea de arroz é produto com maior valor nutricional, sendo muitas vezes aproveitado somente para alimentação animal. Por outro lado, o arroz branqueado tem um conteúdo nutricional mais fraco do que o arroz integral.

#### 2.1.3.1 Amido

O amido, presente maioritariamente no endosperma, constitui cerca de 75-80% de peso seco do arroz branqueado [18].

O amido é composto essencialmente por dois polímeros de D-glucose: a amilose e a amilopectina, que constituem cerca de 98% dos grânulos de amido [23]. As estruturas químicas destes os polímeros encontram-se ilustradas na Figura 8.



**Figura 8** Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b) [24].

O grânulo do amido do arroz pode variar entre 3 a 8  $\mu\text{m}$  de diâmetro, sendo o grânulo mais pequeno de todos os grãos de cereais. Por sua vez, podem-se agrupar entre 20 a 60 grânulos individuais formando um *cluster* de grânulos poliédricos que pode ter até 150  $\mu\text{m}$  de diâmetro [25,26].

A amilose (polímero linear de ligações  $\alpha$ -1,4) proveniente do amido do arroz é descrita como tendo um comprimento médio entre 250 e 370 unidades de glucose [27], uma massa molecular compreendida entre  $5.1 \times 10^5$  e  $6.9 \times 10^5$  g/mol [28], um número médio do grau de polimerização e uma média ponderada do grau de polimerização entre 900 e 1100 unidades de glucose e entre 2750 e 3320 unidade de glucose, respetivamente [27,29].

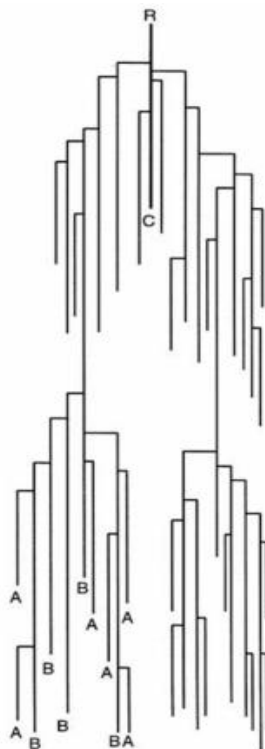
As condições do meio a que o grão se desenvolve influenciam a quantidade de amilose presente no grão [30]. Assim, o arroz branqueado pode ser classificado como [17,31]:

- quantidade extremamente baixa de amilose (quando o conteúdo em amilose é inferior a 5%), conhecido como arroz glutinoso;
- quantidade muito baixa de amilose (quando o conteúdo em amilose varia entre 5 e 12%);
- quantidade baixa de amilose (quando o conteúdo de amilose varia entre 12 e 20%);
- quantidade intermédia de amilose (quando contém entre 20 a 25% de amilose);
- quantidade elevada de amilose (quando o conteúdo de amilose varia entre 25 e 33%).

O arroz da subespécie *Japónica* tende a ter menores quantidades de amilose do que o arroz considerado *Indica* [8].

A amilopectina (polímero ramificado de ligações  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6) presente no amido do arroz caracteriza-se por ter um comprimento médio entre ramificações de 19 a 22 unidades de glucose (comprimento bastante reduzido de cadeias lineares, quando comparado ao da amilose) [29], uma massa molecular compreendida entre  $7.0 \times 10^7$  e  $5.7 \times 10^9$  g/mol [32] e  $DP_n$  entre 8200 e 12900 unidades de glucose [33]. Destaca-se o facto do tamanho, forma e estrutura variarem conforme as condições de crescimento do grão de arroz, à semelhança do verificado com a amilose [24]. Estruturalmente, a amilopectina é constituída por três tipos de cadeias (A, B e C), sendo a cadeia A a mais externa e a mais curta. O tamanho da cadeia B influencia a nomenclatura da mesma, tendo a cadeia B1 o comprimento compreendido entre 15 e 25 unidades de glucose, a cadeia B2 o

comprimento entre 40 e 50 unidades glucose e as cadeias B3 e B4 um maior comprimento [34]. A cadeia C, apenas existe uma por molécula sendo a “base” de toda a estrutura e a que contém o terminal redutor do resíduo [34]. Na Figura 9 encontra-se representado o modelo estrutural da amilopectina.



**Figura 9** Estrutura de um cluster de amilopectina [35].

Devido à composição e ordenação da amilose e amilopectina, o polímero é considerado como semicristalino, (a cristalinidade varia entre 15 a 45%) [26,36].

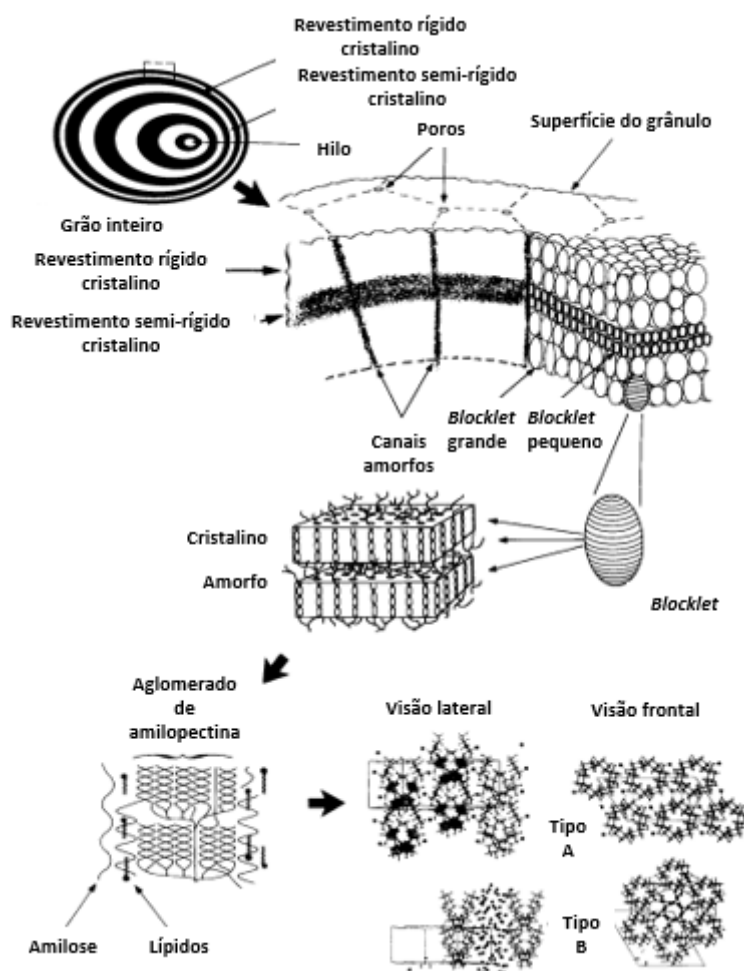
As cadeias periféricas da amilopectina (cadeias do tipo A e B1) formam duplas hélices entre si. As cadeias pequenas têm uma predisposição para formar duplas hélices (polimorfismo tipo A), enquanto as cadeias mais longas formam estruturas polimórficas do tipo B [37–39]. O polimorfismo do tipo A caracteriza-se por ter uma estrutura compacta com duplas hélices paralelas [40] e 4 moléculas de água por célula [41], já o polimorfismo do tipo B tem uma estrutura mais aberta, tendo um núcleo helicoidal hidratado e 36 moléculas de água por célula [41]. Salienta-se que nem toda a amilopectina existente no grânulo tem predisposição para formar duplas hélices, existindo apenas 49 a 63% de estrutura de dupla hélice [42,43].

A unidade do grânulo do amido é constituída por camadas paralelas concêntricas, vulgo anéis de crescimento, desde o núcleo até à superfície dos grânulos. Os anéis de

crescimento têm, normalmente, 120 a 500 nm de espessura, podendo variar conforme a necessidade de disposição de amido nos tecidos de armazenamento [44,45].

A organização das ligações glicosídicas e zonas cristalinas é regulada pela atividade enzimática e condições ambientais durante a formação do grão [46–48].

Como se pode visualizar na Figura 10, as camadas dos anéis de crescimento são compostas por camadas cristalinas (*clusters* de cadeias de amilopectina de elevada densidade) alternadas com camadas amorfas (ramificações de amilose e amilopectina sem conformação organizada de baixa densidade) [45,49].



**Figura 10** Estrutura do grânulo do amido do arroz (adaptado de [45]).

A maioria das características do amido só se evidenciam depois de se cozinharem os grânulos em água em excesso (para uma melhor hidratação e dispersão da amilose e da amilopectina), o que provoca a gelatinização e agregação dos polímeros [50].

O processo de gelatinização compreende várias alterações no grânulo do amido: perda de cristalinidade, absorção de água e, por consequente, o aumento do tamanho dos grânulos, bem como a passagem de compostos, como a amilose, para o meio, levando

assim à alteração das propriedades reológicas (movimentos e deformações) do amido [51,52]. O aumento de tamanho dos grânulos de amido provoca uma maior solubilidade do amido e uma maior consistência do gel formado [53,54], sendo esta proporcional à quantidade de água absorvida. A amilopectina é responsável por uma maior absorção de água, assim, quanto maior o conteúdo em amilopectina, mais viscoso é o arroz [55–57].

Terminada a primeira fase do processo de gelatinização, inicia-se a fase da retrogradação, na qual as moléculas de amido gelatinizadas reorganizam-se de forma reversível, no caso da amilopectina e, de forma irreversível, no caso da amilose [58]. Os cristais de amilose reorganizam-se mais rapidamente [59]. O processo de retrogradação e recristalização implica o aumento do nível de resistência do amido às enzimas [60].

A hidrólise do amido ocorre através de três enzimas:  $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -amilase e amiloglucosidase [61–64]. A  $\alpha$ -amilase, também conhecida por enzima liquidificadora uma vez que diminui a viscosidade do amido, é responsável pela clivagem de ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4, formando assim oligossacarídeos de menores dimensões até se reduzir ao monossacarídeo glucose [64]. A enzima  $\beta$ -amilase, à semelhança da  $\alpha$ -amilase, quebra as ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4, mas apenas nas extremidades não redutoras do polissacarídeo, produzindo assim maltose e não glucose [64]. A amiloglucosidase é responsável pela sacarificação do amido, ou seja, hidrolisa sucessivamente os oligossacarídeos até se formarem unidades de glucose [64].

O amido facilmente digerível no sistema digestivo origina um rápido aumento de glucose na via sanguínea, estando fortemente associado ao aparecimento de diabetes e insuficiências cardíacas [65]. No entanto, nem todo o amido é facilmente degradável. O amido resistente é definido como a fração de amido não digerível no intestino delgado mas fermentável no intestino grosso [60]. A resistência deste amido é proveniente da associação espontânea dos polímeros do amido [66].

As moléculas do amido resistente são de cadeia linear com o comprimento entre 20 a 25 resíduos de glucose [67].

O amido resistente pode ser classificado em [68]:

- Amido resistente 1 (amido fisicamente inacessível à digestão);
- Amido resistente 2 (amido não digerível devido à conformação ou estrutura do grânulo do amido);
- Amido resistente 3 (amido não granular que resistiu à digestão);



- Amido resistente 4 (amido modificado quimicamente de forma a diminuir a sua digestão).

A ingestão do amido resistente acarreta vários benefícios para a saúde como:

- regulação do nível de glucose no sangue (a conversão de amido em glucose é reduzida) [69];
- diminuição da secreção de insulina [69];
- diminuição do pH intestinal [70,71]
- promoção da absorção de minerais (zinco, cálcio e magnésio) [70,71];
- prevenção do aparecimento da diabetes tipo II [72].

#### 2.1.3.2 Proteínas

As proteínas são o segundo composto mais abundante no arroz branqueado [73].

O conteúdo proteico presente nos grãos de arroz relaciona-se com os elevados valores de azoto (utilizado como fertilizante) existente nos solos durante o desenvolvimento do grão, sobretudo durante a fase reprodutiva da planta [74,75]. A radiação solar incidente durante o desenvolvimento do grão também influencia o conteúdo proteico do grão, podendo reduzir a porção do mesmo [76].

O arroz é o cereal com menor teor proteico, contendo entre 7 a 9% na sua composição [77]. A espécie *Oryza glaberrima* é a que apresenta um maior conteúdo proteico, podendo variar entre 10.2 a 15.9%, enquanto que a *Oryza sativa* varia entre 4.5 a 15.9% em conteúdo proteico [78].

As proteínas encontram-se, essencialmente, nas camadas periféricas do grão, sendo o branqueamento do grão o responsável pela diminuição do conteúdo proteico [79] e, como o grão de arroz tem distintos tecidos celulares, existem diferentes tipos de proteínas no grão. Cerca de 80% de proteínas são solúveis em meios alcalinos, 15% de proteínas são solúveis em água ou em meios salinos, 5 a 8% são solúveis em álcoois [73].

A orizenina é a principal proteína armazenada no arroz, existindo em menores proporções as prolaminas, globulinas e albuminas [80,81].

As proteínas existentes no grão de arroz caracterizam-se pelo seu sabor suave, ausência de cor, para além de não serem alergénicas [82].

O grão do arroz distingue-se dos demais cereais devido à sua composição em lisina. Este aminoácido não é muito abundante nos cereais, contudo, no arroz, o conteúdo de lisina pode variar entre 3.5 a 4.0%, sendo considerado de grande valor proteico [83].

O conteúdo proteico presente no grão de arroz influencia o comportamento e viscosidade do mesmo quando cozinhado, na medida em que grãos com mais proteína são mais rígidos durante a cozedura do que os grãos com menos conteúdo proteico, ou seja, quanto maior for o conteúdo proteico existente no grão, menor é a quantidade de água absorvida [84,85].

A proteína existente no grão determina a quantidade de água absorvida durante a cozedura, e, assim, influencia a viscosidade do grão [86].

#### *2.1.3.3 Lípidos*

Os lípidos, apesar de não serem muito abundantes no grão de arroz, são bastante importantes na medida que influenciam as características nutricionais, sensoriais e funcionais deste cereal [87].

No arroz, grande parte da matéria lipídica encontra-se na sêmea, constituindo cerca de 20% em peso desta. Contudo, no arroz branqueado apenas é possível extrair cerca de 1.6% de matéria lipídica [88,89].

Os lípidos assumem a forma de esferossomas, podendo ser considerados como lípidos amilósicos ou não amilósicos [90]. Os lípidos de maiores dimensões encontram-se na camada de aleurona (diâmetro inferior a 1.5  $\mu\text{m}$ ), enquanto que no embrião os lípidos têm um diâmetro inferior a 0.7  $\mu\text{m}$  [91].

#### *2.1.3.4 Vitaminas e minerais*

O arroz pode ser considerado como uma fonte de vitaminas do complexo B, nomeadamente a tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2) e niacina (vitamina B3) [92]. Contudo, o branqueamento do arroz reduz a quantidade de vários compostos, como a vitamina B3, B1 e B6, perdendo-se cerca de 67%, 80% e 90% destes compostos, respetivamente [93].

O conteúdo de vitamina B1 varia entre 0.12 e 1.74 mg/100 g e o da vitamina B2 entre 0.01 e 0.45 mg/100 g, sendo a vitamina B3 a mais representativa no arroz, podendo o seu conteúdo variar entre 1.97 e 9.22 mg/100 g [94–96].

No arroz pode-se encontrar também minerais como o cálcio, magnésio e fósforo e, em menores proporções, o ferro, cobre, zinco e manganês [97].

#### *2.1.3.5 Fibras alimentares*

As fibras alimentares são constituídas por vários compostos como a celulose,  $\beta$ -glucanos, hemicelulose e lenhina (compostos insolúveis) e pectina e resina (compostos solúveis) [98].

O arroz caracteriza-se por ser uma fonte de fibras insolúveis, cujas propriedades são benéficas para o bom funcionamento intestinal e redução de colesterol [18,99]. De facto, as fibras insolúveis favorecem os alimentos na medida em que estas retardam a difusão de glucose e conseguem inibir a atividade de enzimas como a  $\alpha$ -amilase, reduzindo assim o nível de glucose no sangue após a sua ingestão [100].

O arroz branqueado apresenta menor quantidade de fibras alimentares do que a casca e a sêmea de arroz (a sêmea de arroz é composta por 27% de fibras alimentares) [18,99].

O arroz é composto por 2% de fibras, sendo que uma porção de arroz integral cozido (se considerar 160 gramas) contém cerca de 2.4 g de fibras alimentares. É recomendável a ingestão de 20 a 35 gramas diárias de fibras alimentares para adultos saudáveis, constituindo 8% da dose recomendada [98].

A adição de fibras alimentares afeta física e quimicamente o amido. Ao adicionar fibras alimentares, a amilopectina aumenta de tamanho significativamente e, por sua vez, o pico da viscosidade durante a cozedura aumenta com a respetiva adição das mesmas [56,101].

## **2.2 Efeito da imersão no arroz**

Atualmente, existe uma grande preocupação com a ingestão de alimentos mais saudáveis e ricos em compostos de valor acrescentado e na forma de melhorar os mesmos. A “lavagem” dos grãos remove as impurezas que permanecem nos mesmos e a imersão do arroz em água, à semelhança do verificado com outros grãos, diminui o tempo de cozedura dos mesmos [102].

De facto, a imersão do arroz em água altera as características dos constituintes dos grãos de arroz, sendo a temperatura e a duração da imersão proporcionais ao grau de modificações nos grãos [103]. Para além das condições de imersão, a disponibilidade dos compostos e a sua localização no grão influenciam o acesso à água de imersão [104].

A água de imersão entra e difunde-se dentro dos grãos levando à absorção de água e aumento do tamanho dos constituintes do grão, dispersando-os no meio de imersão, como é o caso do amido e amilose, compostos fenólicos [105,106]. As proteínas presentes no grão são também dispersas na água de imersão, enfraquecendo as interações proteínas-amido existentes [103].

Quando a imersão ocorre, devido à entrada de água no grão, os pigmentos migram das camadas periféricas para o endosperma [107].

Durante a imersão em água, os minerais presentes no grão difundem-se na água de imersão, como é o caso do ferro e do zinco, sendo mais notória a redução no conteúdo em ferro (até cerca de 60%) [104].

A saída dos vários componentes do arroz leva, por sua vez, a alterações significativas em termos de textura, viscosidade e sabor, influenciando drasticamente o comportamento destas variedades.

## 2.3 Sistemas de cultivo do arroz

Segundo o IRRI, o cultivo do arroz pode ser feito através de quatro tipos de sistemas [108]:

- Sistema irrigado: o arroz encontra-se completamente mergulhado em água durante todo o período de crescimento;
- Terras baixas: para o arroz se encontrar mergulhado, os campos possuem sistemas de retenção de água proveniente das chuvas, podendo chegar aos 100 cm de altura;
- Terras altas: o arroz cresce só em contato com a água da chuva;
- Locais propensos a inundações: o arroz cresce em águas profundas (altura superior a 100 cm) proveniente de rios.

O sistema irrigado é o tipo de cultivo de arroz predominante, constituindo cerca de metade da área de cultivo de arroz. O sistema de terras baixas é o segundo tipo mais frequente, constituindo cerca de 30% de toda a área de produção de arroz [108,109].

Independente do sistema em que o arroz cresce, este é colhido quando tem cerca de 20% de humidade. Posteriormente é seco até ter cerca de 14% de humidade para ser armazenado em boas condições [5].

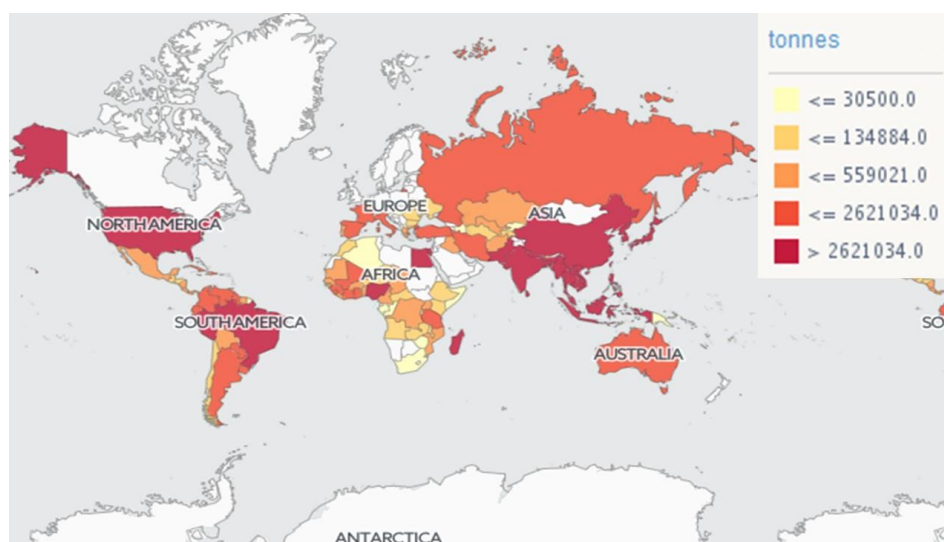
## 2.4 Produção de arroz

Entre os anos 1966 e 2000, a produção de arroz cresceu cerca de 130%, devendo-se em grande parte à Revolução Verde (termo atribuído para descrever as alterações que ocorreram na Ásia e América Latina entre 1960 e 1970, aquando o início da utilização de novas variedades de cereais de maneira a intensificar a produção destes) [110,111].

Atualmente, o arroz é produzido em mais de 100 países [5]. Em 2014, foram produzidas cerca de 741 milhões de toneladas de arroz (em casca), sendo o continente asiático responsável por 90% da produção de arroz, seguido pelo continente americano com cerca de 5% da produção mundial [112]. A Europa é apenas responsável por cerca de 0.6% da produção de arroz mundial [112].

Em Portugal, cerca de 30 000 hectares são dedicados ao cultivo de arroz, sendo o vale do Tejo a zona mais representativa de cultivo (cerca de 14 000 hectares), distribuindo-se também pelos vales dos rios Mondego e Sado [113].

Na Figura 11, encontra-se representado o mapa global de produção de arroz em 2014.



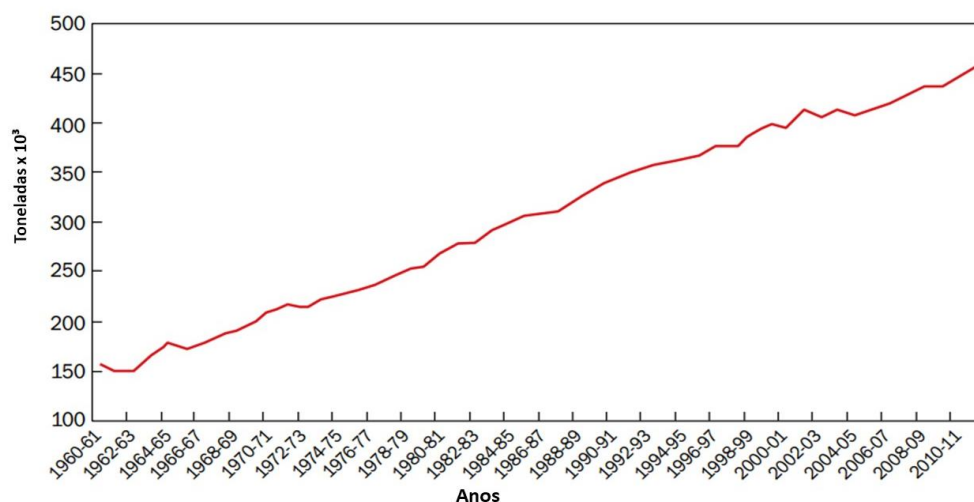
**Figura 11** Produção de arroz em casca em 2014 [112].

## 2.5 Consumo de arroz

O arroz é um dos cereais com maior impacto na alimentação da população mundial, sendo consumido por cerca de 60% da população mundial [114].

Segundo a FAO [112], consumiram-se cerca de 480 milhões de toneladas em 2011, sendo que 85% (408 milhões de toneladas de arroz) foram para consumo humano.

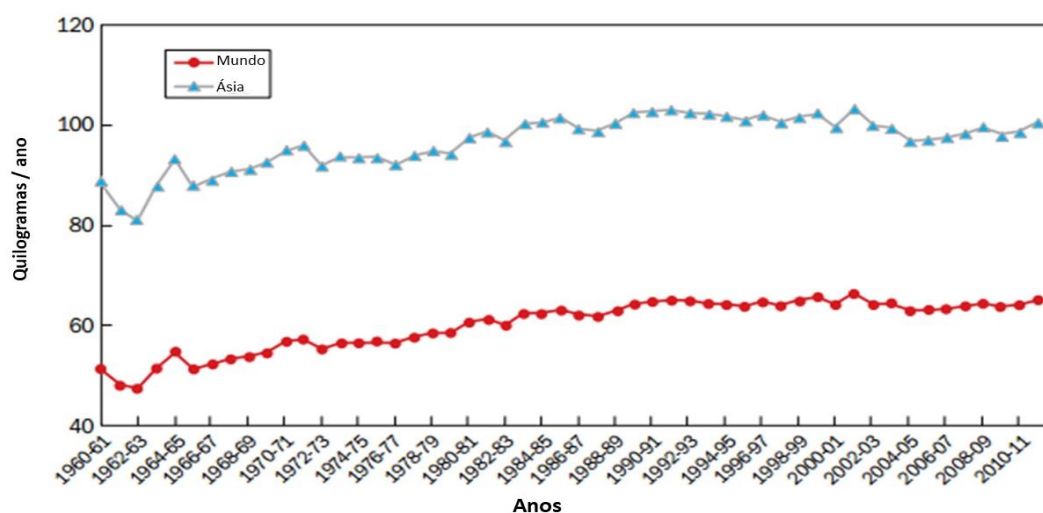
Na Figura 12 encontra-se representada a evolução do consumo de arroz, evidenciando-se um consumo crescente de arroz ao longo dos anos.



**Figura 12** Consumo de arroz a nível mundial (adaptado de [115]).

A China e a Índia são os países que mais consomem arroz (cerca da metade do consumo mundial) [5], fazendo com que o consumo de arroz *per capita* na Ásia seja muito superior ao dos restantes continentes: nos anos 2010-2011, o consumo de arroz *per capita* na Ásia era cerca de 100 kg/ano, enquanto que, a nível mundial, o consumo de arroz era cerca de 60 kg/ano, como evidenciado na Figura 13 [112,115].

Portugal é o país europeu que mais consome arroz, contudo, apresenta um consumo de arroz insignificante quando comparado ao consumo a nível mundial, (consumo de arroz *per capita* em Portugal igual a 17 kg/ano) [113].



**Figura 13** Consumo de arroz *per capita* a nível mundial e no continente asiático (adaptado de [112,115]).

### 3. ÍNDICE GLICÉMICO

---

O Índice Glicémico consiste numa medida de classificação dos alimentos com hidratos de carbono, com base na resposta da glucose no sangue após o consumo de uma certa quantidade de hidratos de carbono (num intervalo de tempo igual a duas horas), tendo como unidade padrão o pão branco ou a glucose, uma vez que apresentam um elevado teor de glicémia (IG=100) [116–118].

Os alimentos são considerados com baixo Índice Glicémico quando este é menor que 55 (escala em glucose) e como alimentos com alto Índice Glicémico quando o índice é superior a 70 (escala em glucose) [119,120].

No caso dos alimentos com elevado Índice Glicémico, os alimentos são digeridos, absorvidos e metabolizados rapidamente, aumentando instantaneamente o nível de açúcar no sangue, ao contrário do que se verifica nos alimentos com baixo Índice Glicémico [119,120]. Alimentos com valores de IG elevados são bastante procurados por desportistas, devido ao rápido aumento de açúcar no sangue. Segundo Burke *et al.* (1993) [121], a ingestão de alimentos com alto IG, aumenta mais rapidamente o músculo glicogénico do que se ingerir alimentos com baixo IG, aumentando assim o rendimento dos desportistas.

Relativamente aos cereais, o trigo, a cevada e o milho têm como IG 30 a 70 unidades de glucose, 22 a 35 unidades de glucose e 59 a 85 unidades de glucose, respetivamente [122]. No caso do arroz branqueado, considera-se o Índice Glicémico igual a 96 unidades de glucose e, para o arroz integral, o Índice Glicémico igual a 83 unidades de glucose [123].

O arroz é considerado como alto IG, pois pode variar entre 54 e 121 unidades de glucose [124].

Segundo Srikakeo e Arranz-Martínez (2015), os alimentos com elevado conteúdo em amilose sofrem uma digestão mais lenta do amido e, por sua vez, têm um menor Índice Glicémico [125]. Os alimentos com baixo conteúdo de amilose são facilmente hidrolisados, sendo propício o aumento rápido do nível do açúcar no sangue (elevado índice glicémico) [126].

A subespécie de arroz *Japónica* tende a ter um maior Índice Glicémico do que a subespécie *Indica*, devido à sua menor composição em amilose [124].

A organização estrutural do amido, as fibras, gorduras e proteínas existentes no arroz tal como o método de cozedura influenciam o valor do Índice Glicémico [127,128].

As fibras solúveis provenientes de cereais atrasam o esvaziamento gástrico e a absorção de glucose, regulando os níveis da glucose e insulina [129]. Alimentos com conteúdos elevados em fibras possuem um reduzido Índice Glicémico.

Com o intuito de reduzir o valor do índice glicémico, foram realizados vários estudos, concluindo que o processo térmico ao qual se submete o arroz, o tempo de cozedura do arroz e o processo de retrogradação tal como a mobilidade gastrointestinal levam a uma redução do valor do IG, uma vez que as moléculas de amido ao reorganizarem-se numa forma mais organizada, a resistência às enzimas digestivas aumenta, sendo mais difícil ocorrer a hidrólise do amido [130–133].

O elevado nível de glucose no sangue é responsável pelo desenvolvimento de doenças coronárias, obesidade e diabetes tipo II [120].

Segundo Soriguer *et al.* (2013), as pessoas que ingerem arroz frequentemente estão mais propensas a desenvolver a diabetes tipo II [134].

### 3.1 Diabetes Mellitus Tipo II

A diabetes mellitus é a patologia que mais prevalece em todo o mundo. Atualmente, cerca de 450 milhões de pessoas sofrem desta patologia e, em 2040, prevêem-se que cerca de 642 milhões de pessoas padeçam da mesma [135].

A diabetes mellitus é originada pela insuficiência de insulina que resulta na hiperglicemia, podendo ser classificada em dois tipos: a diabetes dependente de insulina (diabetes tipo I) e a não dependente de insulina (diabetes tipo II) [136,137].

A diabetes mellitus tipo I resulta do processo destrutivo das células  $\beta$ -pancreáticas [138].

A diabetes mellitus tipo II é uma desordem metabólica complexa que resulta da interação entre a predisposição genética e os comportamentos ambientais e comportamentais de risco [139]. Estima-se que mais de 90% dos casos de diabetes, em todo o mundo, sejam diabetes tipo II [140].

Estudos indicam que o consumo de grãos de cereais integrais reduz significativamente o risco de desenvolver a diabetes tipo II e doenças cardiovasculares [69,141–143].

As pessoas com comportamentos de risco devem controlar o seu peso, praticar mais exercício físico, ter hábitos alimentares saudáveis e reduzir a quantidade de hidratos de



carbônico ingeridos [138]. A ingestão de produtos alimentares com baixo Índice Glicêmico ajuda a reduzir o valor da glicemia no sangue e a prevenir o surgimento da doença, tal como referido anteriormente.

## 4. ESTÁGIO EM ÂMBITO INDUSTRIAL

---

### 4.1 Novarroz – Produtos Alimentares, S. A.

A Novarroz, fundada em 1979, é uma empresa familiar que se dedica ao descasque, branqueamento, empacotamento e venda de vários tipos de arroz e sub-produtos, como a casca ou a sêmea. Situa-se em Ul, Oliveira de Azeméis e tem vindo a afirmar-se no mercado português, sendo uma PME líder em 2015 [144,145]. Na Figura 14 encontra-se representado o logótipo da empresa.



**Figura 14** Logótipo da Novarroz [144].

Atualmente, a Novarroz tem uma capacidade de armazenamento igual a 40 000 toneladas de arroz em casca e de 800 toneladas de arroz branqueado. A capacidade de produção é igual a 360 toneladas diárias em vários formatos, desde 500 g a 25 kg [144].

Atualmente a empresa é certificada pela SGS segundo as exigentes normas de qualidade e segurança alimentar BRC e IFS [144].

### 4.2 Legislação relativa ao arroz

Segundo o Decreto-Lei nº62/2000 de 19 de Abril [146], o arroz pode ser definido como:

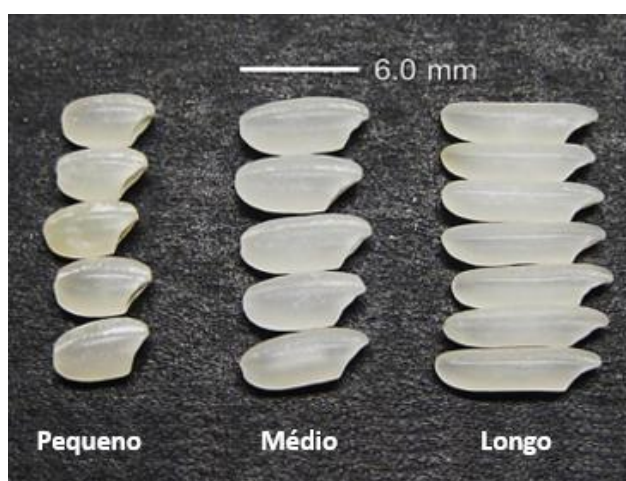
- Arroz em casca (arroz envolvido pela casca);
- Arroz descascado ou em película (arroz no qual foi removida a casca);
- Arroz semibranqueado (arroz em casca no qual foi removida a casca, uma parte do gérmen e parte das camadas externas do pericarpo);
- Arroz branqueado (arroz em casca no qual foi removida a casca, todas as camadas exteriores e interiores do pericarpo, todo o gérmen ou uma parte,

contudo, podem ainda existir estrias brancas longitudinais no máximo em 10% dos grãos).

Segundo o Decreto-Lei nº62/2000 de 19 de Abril [146] e o Codex Alimentarius [147], o arroz pode ser definido segundo o seu comprimento como:

- Arroz de grãos redondos (arroz cujos grãos têm um comprimento inferior a 5.2 mm e a relação comprimento/largura inferior a 2.0);
- Arroz de grãos médios (arroz cujos grãos têm um comprimento superior a 5.2 mm e inferior ou igual a 6.0 mm e relação comprimento/largura inferior a 3.0);
- Arroz de grãos longos (arroz cujos grãos têm um comprimento superior a 6.0 mm e relação comprimento/largura superior a 2.0 e inferior a 3.0 e arroz cujos grãos têm um comprimento superior a 6.0 mm com uma relação comprimento/largura superior ou igual a 3.0).

Na Figura 15 encontra-se ilustrados os grãos redondos, médios e longos.



**Figura 15** Classificação dos grãos de arroz branqueado segundo o seu comprimento (adaptado de [148]).

Segundo o mesmo Decreto-Lei, o arroz pode ser considerado consoante o seu tratamento [146]:

- Arroz estufado ou vaporizado (arroz em casca ou em película que passa por imersão em água, vaporização e secagem sendo depois processado industrialmente, tendo o seu amido completamente gelatinizado);
- Arroz pré-cozido (arroz tratado fisicamente de modo a reduzir significativamente o seu tempo de cozedura);

- Arroz glaciado (arroz branqueado envolto por glucose e talco);
- Arroz matizado (arroz branqueado envolto por óleo).

Relativamente às características dos grãos de arroz, a atual legislação portuguesa admite [146]:

- Grão inteiro (grão no qual foi retirada uma parte da “ponta” durante o processamento industrial);
- Grão despontado (grão no qual foi retirada a totalidade da “ponta” durante a fase de branqueamento);
- Grão partido ou trinca (grão cujo comprimento é igual ou inferior a três quartos do comprimento médio do grão inteiro);
  - Trinca grada (fragmento do grão com comprimento igual ou superior a metade do comprimento de um grão);
  - Trinca média (fragmento de grão com comprimento igual ou superior a um quarto do comprimento do grão);
  - Trinca miúda (fragmento de grão com comprimento inferior a um quarto do grão);
  - Migalha ou fragmento (fragmento ou partícula de grão de tamanho inferior a 1.4 mm);
- Grão verde (grão que não maturou completamente);
- Grão deformado (grão cujas características são diferentes do grão típico da variedade);
- Grão danificado (grão germinado, fermentado ou atacado por predadores);
- Grão fendido (grão partido longitudinalmente);
- Grão gessado (grão com aspeto opaco e farinhoso em, pelo menos, três quartos da sua superfície);
- Grão estriado de vermelho (grão com estrias longitudinais de cor vermelha);
- Grão vermelho (grão cuja superfície está revestida de pericarpo de cor vermelha);
- Grão manchado (grão que apresenta manchas de tonalidade escura de tamanho igual ou inferior a metade do grão);
- Grão amarelo (grão de tonalidade amarela por toda ou em partes da superfície devido a deterioração);

- Grão ambarino (grão de tonalidade âmbar devido a alteração da sua coloração natural);
- Grão escuro (grão ou parte do grão cuja parte da superfície tem uma coloração escura);
- Casca (subproduto que envolve o cariopse);
- Farelo de casca (subproduto proveniente do descasque e trituração da casca);
- Sêmea (subproduto constituído pelas camadas do pericarpo proveniente do branqueamento);
- Gérmen (embrião da semente);
- Farinha (produto resultante da moagem de grãos inteiros ou trincas);
- Impurezas (substâncias estranhas ao arroz, tanto em película como branqueado).

As diferentes variedades de arroz são comercializadas com as denominações [149]:

- Agulha (arroz de grãos longos e estreitos com alto teor em amilose e de textura firme);
- Carolino (arroz de grãos longos e com relação comprimento/largura inferior a 3.0, com baixo conteúdo de amilose e, por isso, apresenta uma textura mais pastosa, absorvendo a água e os sabores da cozedura);
- Risotto (arroz de tamanho longo característico por absorver a água e produzir uma pasta cremosa, sendo utilizado maioritariamente em Itália);
- Basmati (arroz de grão longo, característico pelo seu aroma e excelente qualidade, comum na cozinha indiana);
- Jasmin (arroz aromático, utilizando nos pratos chineses por ser mais pastoso);
- Arroz selvagem (grão não é proveniente da *Oryza sativa* como os outros grãos de arroz, tratando-se de uma semente do gene *Zizania* (planta aquática), a semente é longa, negra e rica em vitaminas do complexo B)

### 4.3 Processo industrial

O processo industrial do arroz, desde a colheita do grão até ao empacotamento do mesmo, envolve várias etapas nas quais existem medidas de controlo rigorosas que a Novarroz cumpre e esforça-se por melhorar cada vez mais.

O arroz que entra na Novarroz é previamente seco pelo produtor, devendo a sua humidade variar entre 13 e 14%, segundo as condições de consumo referidas no Decreto-Lei nº 62/2000 de 19 de Abril [146].

Quando o arroz chega à unidade fabril é retirada uma amostra significativa para ser analisada. Inicialmente, mede-se a humidade da amostra. A amostra é submetida ao processamento em escala laboratorial, no qual o arroz é descascado, branqueado e posteriormente analisado para determinar a quantidade dos grãos danificados, gessados e estriados para registo das características do arroz recebido. Complementarmente, são analisadas as suas características físicas, nomeadamente o comprimento e largura médias, relação comprimento/largura, grau de brancura e respetivo tempo de branqueio.

As análises relativas a determinação de contaminantes, OGM, valores microbiológicos e valores nutricionais são realizadas em laboratórios externos certificados.

O processo industrial adaptado à escala laboratorial encontra-se ilustrado na Figura 16, na qual são apresentados os equipamentos de descasque (à esquerda), branqueamento (ao centro) e triagem (à direita).



**Figura 16** Equipamentos de descasque, branqueamento e triagem de grãos em escala laboratorial.

Depois de verificar se o arroz se encontra nas devidas condições e de acordo com a legislação vigente, o arroz é armazenado em silos. Os silos permitem uma monitorização contínua da temperatura e humidade e possibilitam a ventilação e administração de tratamentos de pragas no arroz conforme a legislação em vigor.

Quando o arroz sai dos silos de armazenagem, passa nas despedradoras e tararas para remover as impurezas como as palhas e as pedras.

O passo seguinte é a remoção da casca do grão de arroz através da fricção exercida pela passagem no meio de dois rolos de borracha que circulam a velocidades diferentes e em sentidos opostos. A casca resultante deste processo é então o primeiro subproduto, sendo armazenada e convertida em fardos de casca para uso como fertilizante dos solos.

Depois da casca removida, o arroz integral passa pelo processo de moagem no qual é removido o pericarpo, transformando-se em arroz branqueado e em dois subprodutos: as trincas provenientes da erosão do processo de branqueamento e o farelo de arroz. O farelo de arroz é encaminhado para outros processos e ser comercializado para alimentação animal de elevado valor nutricional.

Posteriormente, o arroz branqueado passa pelo processo de polimento no qual é usada uma quantidade de água muito reduzida para que o grão não a absorva.

Posto isto, o arroz é triado na seletora (equipamento que seleciona o grão de arroz consoante as suas características físicas), no qual os grãos de arroz que cumprem as disposições legais e condições do cliente seguem para a linha de empacotamento e os restantes seguem para as linhas de rejeitados.

Existem várias linhas de empacotamento, desde 500 g a 25 kg, sendo o material da embalagem primária crucial para a qualidade do produto final, pois não pode permitir a contaminação do arroz, quer pelas condições ambientais, quer pela composição química e física do pacote.

O arroz empacotado é armazenado em condições controladas de humidade e temperatura, garantindo a boa qualidade do arroz e minimizando a possibilidade de contaminação.

Destaca-se a presença de magnetos ao longo de todo o processo industrial e de detetores de metais no final do mesmo para garantir a boa qualidade do produto.

#### 4.4 Atividades desenvolvidas

Na Novarroz foram adquiridos conhecimentos e competências e desenvolvidas várias atividades relacionadas com a manutenção da qualidade dos produtos, nomeadamente:

- Acompanhamento e revisão dos planos do HACCP, *Food Defense* e *Food Fraude*;
- Análises aos grãos de arroz que davam entrada e os produzidos na fábrica (determinação da percentagem de grãos deformados, danificados, estriados e trincas bem como determinação do comprimento e largura do grão e respetiva razão comprimento/largura, brancura vítrea e total, peso dos grãos, grau de brancura e humidade);

- Calibração de equipamentos (acompanhamento da calibração das balanças e estufa);
- Conhecimento da legislação vigente e regulamentos relacionados com o arroz e políticas corporativas da empresa (assistência de formações referentes a requisitos alimentares como *Food Defense* e *Food Fraude*);
- Controlo da rastreabilidade (compilação da rastreabilidade dos produtos produzidos nas várias linhas de empacotamento);
- Determinação do cloro em água (determinação do cloro na água em pontos específicos na unidade fabril e acompanhamento das medições por laboratórios externos);
- Embalagem e rotulagem (atualização dos rótulos conforme novos regulamentos da FDA e reconhecimento das normas da embalagem e rotulagem vigentes em vários países);
- Higiene e Segurança no Trabalho (acompanhamento dos procedimentos de higiene e segurança no trabalho e acompanhamento das medições de vibração dos equipamentos e realização/atualização de procedimentos de higiene e segurança no trabalho);
- Procedimento gestão de crise (acompanhamento da amostragem e análises aos diversos processos);
- Realização de fichas técnicas (elaboração de fichas técnicas de determinados produtos conforme as especificações pretendidas pelo cliente em várias línguas);
- Reclamações (tratamento estatísticas das reclamações);
- Preparação de amostras (preparação de amostras de determinadas variedades de arroz);
- Testes de cozedura (realização de testes de absorção de água e de cozedura das várias variedades de arroz);
- Testes de viscosidade (realização de testes de viscosidade das variedades do arroz, utilizando o RVA).



## 5. MATERIAL E METODOLOGIAS

### 5.1 Amostras de arroz

As amostras de arroz são provenientes de vários fornecedores da Novarroz, tendo sido previamente descascadas e branqueadas no laboratório do Departamento da Qualidade da empresa.

As amostras foram codificadas consoante a sua subespécie (*Indica* ou *Japónica*), e o seu ano de colheita, existindo num total de 41 variedades, sendo que existem 23 variedades *Indica*, 12 variedades *Japónica* e 6 referências já existentes no mercado caracterizadas por terem um baixo Índice Glicémico, como evidenciado na Tabela 2.

**Tabela 2** Amostras utilizadas no presente estudo e respetiva caracterização e colheita

<b>Amostra</b>	<b>Tipo</b>	<b>Colheita</b>
<i>Indica 6-14</i>	Agulha	2014/2015
<i>Indica 6-16P</i>	Agulha (película)	2016/2017
<i>Indica 6-16</i>	Agulha	2016/2017
<i>Indica 7-14</i>	Agulha	2014/2015
<i>Indica 7-16</i>	Agulha	2016/2017
<i>Indica 7-E</i>	Agulha	2013/2014
<i>Indica 7-I</i>	Agulha (película)	2016/2017
<i>Indica 7-NP</i>	Agulha (película)	2016/2017
<i>Indica 7-N</i>	Agulha	2016/2017
<i>Indica 8-16P</i>	Agulha (película)	2016/2017
<i>Indica 8-16</i>	Agulha	2016/2017
<i>Indica 9-15</i>	Agulha	2015/2016
<i>Indica 9-16</i>	Agulha	2016/2017
<i>Indica 10-16</i>	Agulha	2016/2017
<i>Indica 15-16P</i>	Agulha (película)	2016/2017
<i>Indica 15-16</i>	Agulha	2016/2017
<i>Indica 1-14</i>	Agulha (aromático)	2014/2015
<i>Indica 1-16</i>	Agulha (aromático)	2016/2017
<i>Indica 11-1</i>	Agulha (aromático)	2016/2017
<i>Indica 11-2</i>	Agulha (aromático)	2016/2017
<i>Indica 12-2</i>	Agulha (aromático)	2016/2017
<i>Indica 17-16</i>	Agulha (aromático)	2016/2017
<i>Indica 18-16</i>	Agulha (aromático)	2016/2017
<i>Comercial-M11</i>	Agulha (aromático)	2011/2012
<i>Comercial-M12</i>	Agulha (aromático vaporizado)	2012/2013
<i>Comercial-M16</i>	Agulha (aromático vaporizado)	2016/2017

<i>Comercial-R12</i>	Agulha (aromático)	2012/2013
<i>Comercial-R13</i>	Agulha (aromático)	2013/2014
<i>Comercial-PS</i>	Agulha (aromático)	2016/2017
<i>Japónica 1-12</i>	Carolino	2012/2013
<i>Japónica 1-14</i>	Carolino	2014/2015
<i>Japónica 1-16P</i>	Carolino (película)	2016/2017
<i>Japónica 1-16</i>	Carolino	2016/2017
<i>Japónica 16-16</i>	Médio	2016/2017
<i>Japónica 16-I</i>	Médio (película)	2016/2017
<i>Japónica 16-4P</i>	Médio (película)	2016/2017
<i>Japónica 16-4</i>	Médio	2016/2017
<i>Japónica 17-15</i>	Médio	2015/2016
<i>Japónica 15-14</i>	Médio	2014/2015
<i>Japónica 15-16</i>	Médio	2016/2017
<i>Japónica 15-E</i>	Médio	2016/2017

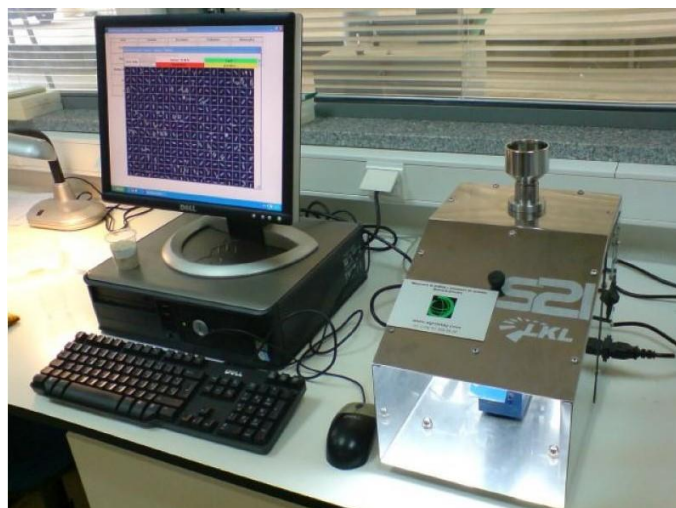
## 5.2 Determinação das características físicas do arroz

A determinação das características físicas do grão de arroz como o comprimento, largura, relação comprimento/largura, brancura total e vítrea e grau de brancura foram efetuadas no laboratório do Departamento da Qualidade.

À exceção do grau da brancura, as análises foram efetuadas usando o aparelho S21 *Rice Statistic Analyser* (Agromay Soluciones Técnicas, S. L.). Este aparelho separa os grãos de arroz e fotografa várias vezes a superfície do grão, processa e trata estatisticamente as imagens com o objetivo de quantificar os defeitos presentes na amostra [150].

O analisador S21 é composto por dois elementos: o corpo físico do analisador (constituído pelo dispensador vertical, uma rampa com agitação de modo a separar os grãos de arroz e uma câmara de alta velocidade) e o respetivo programa (deteta e trata estatisticamente os grãos partidos, gessados e danificados) [150].

Colocaram-se 50 g de grãos de arroz no dispensador vertical, iniciando-se a captura de imagens. Nesse momento, a câmara começa a tirar fotografias até toda a amostra se encontrar fotografada. Posto isto, as imagens são processadas automaticamente segundo o filtro adequado à variedade de arroz [150]. Na Figura 17 encontra-se representado o analisador estatístico S21 presente no laboratório do Departamento da Qualidade da Novarroz.



**Figura 17** Analisador Estatístico de Arroz S21 [151].

O grau de brancura do arroz foi determinado usando o equipamento *Kett Electric Laboratory*, modelo 300-3, presente no laboratório do Departamento da Qualidade da Novarroz. O *kett*, como é vulgarmente conhecido, é uma medida do grau de brancura do arroz tendo em conta o polimento e a qualidade do mesmo. O valor do grau de brancura é obtido através da quantificação da luz refletida pela amostra, numa escala de 0 a 100, sendo o grau de brancura proporcional ao valor do *kett*.

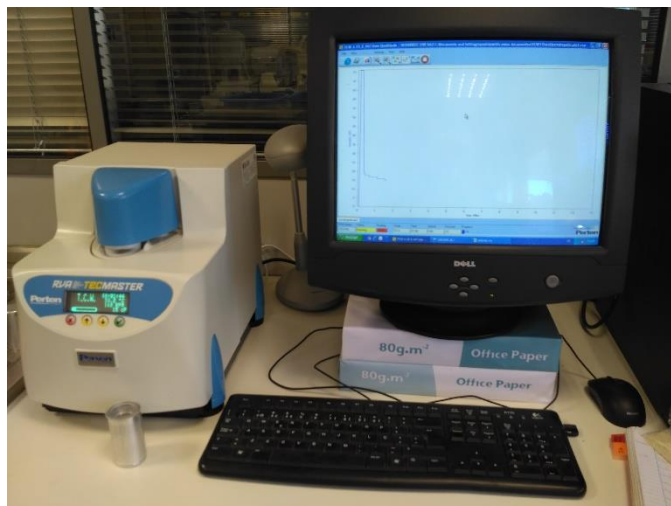
Para a determinação do grau de brancura, tara-se o equipamento com o padrão ótico (*kett* = 87,3) e colocam-se os grãos de arroz no porta-amostras. O valor do *kett* da amostra é mostrado no aparelho como ilustrado na Figura 18.



**Figura 18** Medidor do grau de brancura (*kett*).

### 5.3 Determinação das propriedades reológicas do arroz

As características de gelatinização e viscosidade do arroz são determinadas na Novarroz, através do *Rapid Viscosity Analyser*, modelo *TecMaster* da *Perten* (Figura 19).



**Figura 19** Equipamento RVA.

O RVA é um viscosímetro contínuo rotacional em condições controladas de temperatura combinado com o programa informático *TCW* [152]. Este ensaio está de acordo com o Método Internacional 61-02.01 da AACC, no qual consiste numa previsão das propriedades de cozedura do arroz com base no aquecimento e agitação de uma suspensão aquosa de arroz, simulando assim o processo de cozedura e arrefecimento do arroz [153]. Através deste ensaio são obtidos os parâmetros [153]:

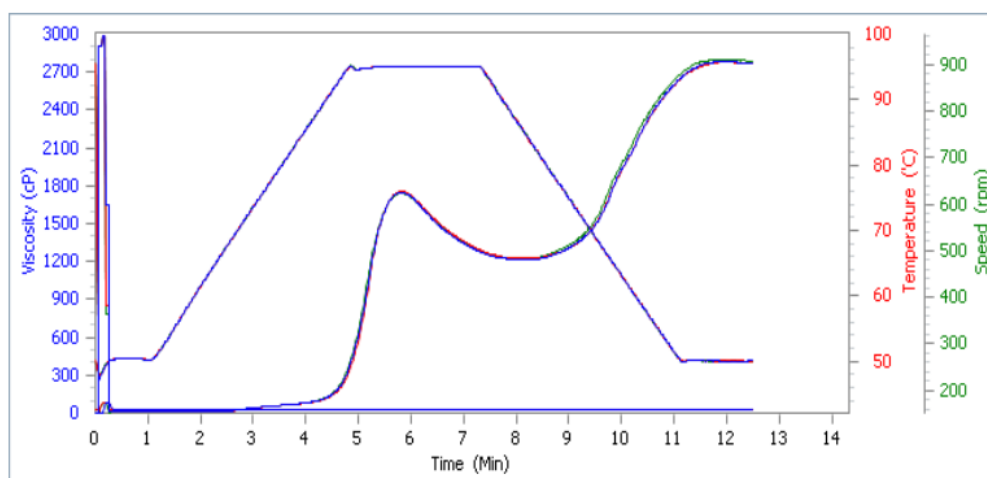
- *Pasting temperature* (temperatura mínima para que a viscosidade aumente);
- Pico da viscosidade (viscosidade máxima durante os ciclos de aquecimento, normalmente quando a temperatura é inferior a 95°C);
- Tempo do pico da viscosidade (tempo necessário para alcançar o pico);
- Vala da viscosidade (viscosidade mínima após o pico da viscosidade);
- Viscosidade final (viscosidade registada no final do teste);
- *Breakdown* (diferença entre a viscosidade máxima e mínima, estando relacionado com a estabilidade do amido ao aquecimento e à tensão de corte);
- Retrogradação após o pico (diferença entre a viscosidade final e a máxima);
- Retrogradação após o vale (diferença entre a viscosidade final e a mínima).

Para determinar as propriedades de viscosidade do arroz, começou-se por fazer um ensaio de aquecimento (sem o recipiente e pá). As análises das amostras de arroz, têm como base o tempo, temperatura e rotação dos ciclos mencionados no Método Internacional 61-02.01 (Tabela 3).

**Tabela 3** Tempo, temperatura e rotação ao longo dos ciclos para determinação da viscosidade do arroz [153].

Número de ciclos	Temperatura (°C)	Tempo (min:seg)	Rotação das pás (rpm)	Tempo (min:seg)
	50	Período inativo	960	0:10
1	50	1:00	160	12:20
2	95	4:45		
3	95	7:15		
4	50	11:06		
Fim do teste		12:30		

A amostra de arroz utilizada neste procedimento foi moída e peneirada através de um crivo de 0.5 mm e a humidade da mesma teve que ser determinada conforme o Método Internacional 44-15.02 da AACC [153,154]. A solução a analisar é composta por uma quantidade de arroz moído e água destilada segundo a humidade do arroz. Antes de se colocar a solução aquosa no aparelho, misturou-se vigorosamente com a pá até a amostra se encontrar totalmente dispersa em água. Colocou-se o recipiente com a pá no aparelho e o teste inicia-se automaticamente [153]. É obtido um perfil da viscosidade da amostra e temperatura como exemplificado na Figura 20.



**Figura 20** Perfil típico do ensaio RVA.

## 5.4 Determinação da humidade do arroz

A humidade das amostras foi determinada através de liofilização. Para tal, utilizou-se o liofilizador *VirTis*, modelo *BenchTop K*, presente no Complexo de Laboratórios Tecnológicos na Universidade de Aveiro.

As amostras a liofilizar, congeladas em azoto líquido, foram moídas num moinho para café. Colocaram-se entre 2 a 3 gramas de amostra moída, com granulometria inferior a 1.0 mm num porta-amostras de 5 mL (previamente pesado). As amostras passaram pelo processo de congelação e secagem (durante cerca de 4 dias). Depois do processo de liofilização, as amostras foram pesadas e armazenadas no exsiccador.

Os valores da determinação de humidade pelo método da liofilização foram comparados com os valores da secagem em estufa. Como não se encontraram diferenças entre as duas determinações, optou-se por utilizar o método da liofilização por ser mais prático para um elevado número de amostras.

O valor da humidade da amostra é obtida pela diferença de massa das amostras como evidenciada na Eq. 1.

$$\text{Eq. 1 Humidade (\%)} = \left( \frac{\text{peso inicial da amostra} - \text{peso final da amostra}}{\text{peso inicial da amostra}} \right) \times 100$$

## 5.5 Determinação do conteúdo em amido

### 5.5.1 Soluções

*Tampão HCl – KCl 0.025 M, pH = 1.5*

Preparam-se as soluções de ácido clorídrico (HCl) 25 mM e de cloreto de potássio (KCl) 25 mM. O tampão é preparado adicionando a solução de HCl à solução de KCl até atingir o pH = 1.5. Acertou-se o volume pretendido de tampão com água destilada.

*Tampão tris-maleato 0.6 M, pH = 6.9*

Preparou-se uma solução com tris(hidroximetil)aminometano (trisma) e ácido maleico, dissolvida em água destilada com a concentração 0.6 M. O pH final do tampão tris-maleato foi ajustado com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 5 M. Acertou-se o volume pretendido de tampão com água destilada.

*Tampão acetato de sódio 0.4 M, pH=4.75*

Preparou-se uma solução de acetato de sódio ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) com a concentração 0.4 M. O pH final do tampão foi ajustado com ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) 1 M. Acertou-se o volume pretendido de tampão com água destilada.

#### *Reagente Glucose oxidase-peroxidase (GOD-POD)*

Conforme o mencionado na ficha técnica do *kit* GOD-POD [155], dissolveram-se 30 mL do reagente tampão GOD-POD em 1 L de água destilada. As enzimas do mesmo *kit* foram dissolvidas em tampão GOD-POD. O reagente glucose oxidase-peroxidase foi armazenado no congelador a  $-20^\circ\text{C}$  até ser utilizado.

#### *Solução de iodo*

Preparou-se uma solução de iodeto de potássio (KI) no qual são pesadas cerca de  $2000 \pm 5$  mg e dissolvidas em água destilada de modo a formar-se uma solução saturada. Posteriormente pesaram-se cerca de  $200 \pm 1$  mg de cristais de iodo ( $\text{I}_2$ ) para adicionar à solução anterior e perfez-se com água destilada 100 mL. O recipiente foi envolvido em alumínio e guardado num local escuro até ter sido usado.

### 5.5.2 Metodologia de determinação do conteúdo em amido total

A determinação do conteúdo em amido total foi realizada de acordo com Goñi *et al.* (1997) [156] e adaptações de Aguiar (2015) [157], tendo sido realizada na Universidade de Aveiro.

Colocaram-se cerca de 25 a 35 mg de amostras com granulometria inferior a 0.5 mm no tubo de ensaio ao qual adicionaram-se 2 mL de hidróxido de potássio (KOH) 2 M. A mistura foi deixada a agitar durante 72 horas, a temperatura ambiente

Depois deste intervalo de tempo, ajustou-se o pH da solução para 6.9 através de 1.5mL de ácido clorídrico (HCl) 2 M e 3 mL de tampão tris-maleato 0.4 M, uma vez que se trata do pH ótimo para a atividade da  $\alpha$ -amilase (Sigma-Aldrich – A3176). Depois do ajuste do pH, adicionou-se 1 mL da enzima  $\alpha$ -amilase com a concentração igual a 40 mg/mL (preparada em tampão tris-maleato 0.6 M, pH = 6.9), deixando decorrer a hidrólise durante as 48 horas seguintes.

Posteriormente, retiram-se três alíquotas de 100  $\mu\text{L}$  da solução, sendo colocadas em tubos da microcentrífuga. Às alíquotas, adiciona-se 1 mL de tampão acetato de sódio 0.4M, pH = 4.75. Uma vez que o pH já se encontra a pH ótimo para a atividade da enzima amiloglucosidase (Sigma-Aldrich – A10115), adicionou-se 50  $\mu\text{L}$  de amiloglucosidase com a concentração 6 mg/mL (preparada em tampão acetato de sódio 0.4 M, pH = 4.75.

Agitaram-se cuidadosamente os tubos e colocaram-se num banho a 60°C (temperatura ótima para a atividade enzimática) durante 12 horas.

Retiraram-se os tubos do banho e centrifugam-se a 10 000 rpm durante 1 minuto.

Posteriormente, quantificou-se o conteúdo de glucose através do *kit* glucose oxidase-peroxidase (GOD-POD) (Nzytech – AK00161) e do espectrofotómetro de microplacas *Thermo Scientific Multiskan Go* UV/Visível com o comprimento de onda igual a 510 nm a 44°C.

O conteúdo em glucose é quantificado através da Lei de Lambert-Beer e convertido em amido através do fator de conversão 0.9.

### 5.5.3 Metodologia de determinação do conteúdo em amilose

A determinação do conteúdo em amilose realizou-se tendo como base o procedimento mencionado na ISO 6647 [158] com adaptações de Aguiar (2015) [157].

O arroz foi moído e passado no peneiro de granulometria igual a 0.180 mm. Posteriormente, colocaram-se  $100.0 \pm 0.5$  mg do arroz moído no tubo de ensaio ao qual se adicionaram 1 mL de etanol 95% e 9 mL de NaOH 1 M. A mistura foi agitada durante 2 dias a 180 rpm, a temperatura ambiente, no agitador orbital *Lab-line*, modelo 4626-I.

Após os 2 dias, colocou-se a mistura anterior num banho a 100°C durante 10 minutos. Posto isto, Fez-se uma solução de 100 mL com a mistura obtida anteriormente. Retiraram-se 3 alíquotas de 500 µL da solução anterior e a cada uma destas, adicionaram-se 5 mL de água destilada, 100 µL de ácido acético 1 M, 200 µL de solução de iodo e, por fim, 4.2 mL de água destilada de modo a perfazer o volume final de 10 mL. Agitaram-se os tubos no vortex e, posteriormente, leram-se as absorvâncias no espectrofotómetro de microplacas *Biotek Eon* UV/Visível com o comprimento de onda igual a 620 nm.

Este procedimento foi utilizado também em amostras de arroz cuja concentração de amilose é conhecida, nomeadamente as amostras de arroz *Waxy* (0.00 g/L), *Ulisses* da Azambuja (12.10 g/L), *Ariete* do Mondego (14.10 g/L), *Ronaldo* da Azambuja (14.25 g/L) e *Gládio* da Salvaterra (22.80 g/L) de modo a se poder elaborar uma curva de calibração das várias concentrações de amilose. O teste branco foi realizado nas mesmas condições que os demais, contudo, em vez de 500 µL de amostra, utilizou-se 500 µL de NaOH 0.09M.



#### 5.5.4 Metodologia de determinação de amilopectina

O conteúdo em amilopectina é obtido através da diferença entre o amido total e a amilose, como demonstrado na Eq. 2.

$$\text{Eq. 2 Amilopectina (\%)} = 100\% - \text{Amilose (\%)}$$

#### 5.5.5 Metodologia de determinação do conteúdo em amido resistente

A determinação do conteúdo em amido resistente foi realizada de acordo com Goñi et al. (1997) [156] e adaptações de Aguiar (2015) [157].

O arroz foi moído e passado no peneiro de granulometria 1.0 mm. Posteriormente, colocaram-se 100 mg do arroz moído no tubo de ensaio ao qual se adicionaram 2 mL de tampão HCl-KCl 0.025 M, pH = 1.5. Depois do pH da solução se encontrar de acordo com o ótimo para a atividade enzimática da pepsina (Riedel-de Haën – 20895), adicionam-se 200 µL de pepsina com a concentração igual a 0.1 g/mL (preparada em tampão HCl-KCl 0.025 M, pH = 1.5), deixando ocorrer a hidrólise sob agitação durante 1 hora a 40°C.

Adicionaram-se 15 µL de NaOH 3 M e 2.98 mL de tampão tris-maleato 0.6 M, pH = 6.9 para estabilizar o pH a 6.9. Adicionou-se 1 mL da enzima α-amilase com a concentração 40 mg/mL (preparada em tampão tris-maleato 0.6 M, pH=6.9), deixando a hidrólise ocorrer durante 72 horas sob agitação.

Para ajustar o pH da solução para 4.75, adicionaram-se 300 µL de HCl 6 M e 2.8 mL de tampão acetato de sódio 0.4 M, pH = 4.75. Depois, adicionou-se 400 µL de amiloglucosidase 6 mg/mL (preparada em tampão acetato de sódio 0.4 M, pH = 4.75), deixando reagir durante 12 horas a 60°C.

Centrifugaram-se os tubos a 3 000 rpm durante 10 minutos, tendo sido descartados os sobrenadantes (amido digerível). O resíduo obtido foi então lavado com 2.5 mL de etanol 50% de maneira a extrair todos os açúcares digeridos durante a hidrólise. A mistura foi depois centrifugada a 3 000 rpm durante 10 minutos sendo lavada novamente com 2.5 mL de etanol 50%. Este processo foi repetido três vezes de modo a extrair completamente os açúcares digeridos para não se quantificar o amido digerível. Depois, adicionaram-se 1.2 mL de KOH 2M ao resíduo obtido, deixando reagir durante 30 minutos a temperatura ambiente.

De modo a ajustar o pH da solução para 4.75, adicionou-se 907  $\mu\text{L}$  de HCl. Retiram-se três alíquotas de 300  $\mu\text{L}$  das soluções anteriores colocando em tubos da microcentrífuga, tendo sido adicionados, a cada tubo, 700  $\mu\text{L}$  de tampão acetato de sódio 0.4 M, pH = 4.75 e 50  $\mu\text{L}$  de amiloglucosidase com a concentração 6 mg/mL (preparada em tampão acetato de sódio 0.4 M, pH = 4.75. Agitaram-se cuidadosamente os tubos e colocaram-se num banho a 60°C (temperatura ótima para a atividade enzimática) durante 12 horas.

Retiraram-se os tubos do banho e centrifugam-se a 10 000 rpm durante 1 minuto.

Posteriormente, quantificou-se o conteúdo de glucose através do *kit* glucose oxidase-peroxidase (GOD-POD) (Nzytech – AK00161) e do espectrofotómetro de microplacas *Thermo Scientific Multiskan Go* UV/Visível com o comprimento de onda igual a 510 nm a 44°C.

O conteúdo em glucose é quantificado através da Lei de Lambert-Beer e convertido em amido através do fator de conversão 0.9.

## 5.6 Determinação do conteúdo em proteína

O conteúdo proteico das amostras foi determinado segundo o método de Kjeldahl, realizado no laboratório de microanálises da Universidade de Aveiro.

Cerca de 3 mg de amostra de arroz liofilizado (com granulometria inferior a 1 mm) foram colocadas em cápsulas de estanho, no analisador *Truspec* 630-200-200, no qual ocorre combustão a 1075°C sucedida de pós-combustão a 850°C, gerando assim  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{SO}_2$ . Os gases produzidos foram conduzidos por hélio e separados por gás de cromatografia e, no caso do azoto, foi quantificado por condutividade térmica [159]. A proteína existente no arroz é obtida através do produto do conteúdo em azoto com o fator de multiplicação 5.95 de acordo com o Método 990.03 da AOAC [160].

## 5.7 Determinação do Índice Glicémico

### 5.7.1 Soluções

*Tampão HCl – KCl 0.050 M, pH = 1.5*

Preparam-se as soluções de ácido clorídrico (HCl) 50 mM e de cloreto de potássio (KCl) 50 mM. O tampão é preparado adicionando a solução de HCl à solução de KCl até atingir o pH = 1.5. Acertou-se o volume pretendido de tampão com água destilada.

*Tampão HCl – KCl 0.025 M, pH = 1.5*

Preparam-se as soluções de ácido clorídrico (HCl) 25 mM e de cloreto de potássio (KCl) 25 mM. O tampão é preparado adicionando a solução de HCl à solução de KCl até atingir o pH = 1.5. Acertou-se o volume pretendido de tampão com água destilada.

*Tampão tris-maleato 0.6 M, pH = 6.9*

Preparou-se uma solução com tris(hidroximetil)aminometano (trisma) e ácido maleico, dissolvida em água destilada com a concentração 0.6 M. O pH final do tampão tris-maleato foi ajustado com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 5 M. Acertou-se o volume pretendido de tampão com água destilada.

*Tampão acetato de sódio 0.4 M, pH = 4.75*

Preparou-se uma solução de acetato de sódio (CH<sub>3</sub>COONa) com a concentração 0.4 M. O pH final do tampão foi ajustado com ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) 1 M. Acertou-se o volume pretendido de tampão com água destilada.

*Reagente Glucose oxidase-peroxidase (GOD-POD)*

Conforme o mencionado na ficha técnica do *kit* GOD-POD [155], dissolveram-se 30 mL do reagente tampão GOD-POD em 1 L de água destilada. As enzimas do mesmo *kit* foram dissolvidas em tampão GOD-POD. O reagente glucose oxidase-peroxidase foi armazenado no congelador a -20°C até ser utilizado.

### 5.7.2 Metodologia de hidrólise para determinação do Índice Glicémico

A hidrólise do amido para obtenção do Índice Glicémico foi baseada no mencionado na literatura [124], [156], com algumas adaptações.

Colocaram-se cerca de 50 g de arroz em 5 mL de água destilada em banho de água em ebulição durante 30 minutos. Posteriormente, adicionaram-se 5 mL do tampão HCl-KCl 0.050 M, pH = 1.5. A mistura foi homogeneizada com o *Ultra-Turrax Ika Werke*, modelo T25, na velocidade 2 (9 500 rpm) durante 2 minutos. Depois da mistura se encontrar homogeneizada e com o pH = 1.5, colocou-se a mesma a 40°C (temperatura ideal para a atividade da pepsina) e adicionaram-se 200 µL de pepsina (Riedel-de Haën – 20895) com a concentração igual a 0.1 g/mL (preparada em tampão HCl-KCl 0.025 M, pH = 1.5), deixando ocorrer a hidrólise sob agitação durante 1 hora. Posteriormente, a 37°C, adicionaram-se 100 µL de NaOH 3 M, 14.9 mL de tampão tris-maleato 0.6 M, pH = 6.9 e 5 mL de α-amilase (2.6 U preparada em tampão tris-maleato 0.6 M, pH = 6.9), colocando-se 1mL da amostra anterior num tubo para cada intervalo de tempo respectivo,

permanecendo em agitação. Retiraram-se 3 alíquotas de 300 µL de 30 em 30 minutos (salvo os 15 minutos iniciais nos quais também se retiraram alíquotas) ao tubo do tempo respectivo. Depois de se retirarem as alíquotas, estas foram colocadas a 100°C durante 5 minutos de modo a inativar a enzima. Depois, adicionou-se 1 mL de tampão acetato de sódio 0.4 M, pH = 4.75 e 25 µL de amiloglucosidase (4.2 U, preparada em tampão acetato de sódio 0.4 M, pH = 4.75). A solução anterior foi deixada a hidrolisar durante 45 minutos a 60°C.

Retirou-se a solução do banho e centrifugou-se a 10 000 rpm durante 1 minuto.

Posteriormente, quantificou-se o conteúdo de glucose através do *kit* glucose oxidase-peroxidase (GOD-POD) (Nzytech – AK00161) e do espectrofotómetro de microplacas *Thermo Scientific Multiskan Go* UV/Visível com o comprimento de onda igual a 510 nm a 44°C.

A digestão do amido foi determinada como a percentagem do amido total hidrolisado a diferentes tempos (15, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos) constituindo assim uma curva de hidrólise, na qual se calculou a área abaixo da mesma através da Regra de Simpson Composta. A solução de Glucose (Sigma-Aldrich – G8270), utilizada como referência para o cálculo do IG, foi tratada da mesma forma que as variedades de arroz, tendo sido determinada também a área abaixo da curva através da Regra de Simpson Composta.

O índice de hidrólise de cada variedade é obtido através da razão entre a área abaixo da curva da variedade e a área abaixo da curva da referência.

Através da relação estimada por Goñi *et al.* (1997) [156], mencionada na Eq. 3, obtém-se o valor do IG, no qual se utiliza para o cálculo o índice de hidrólise.

$$\text{Eq. 3 } IG = 39.71 + (0.549 \times IH)$$

## 5.8 Imersão do grão de arroz em água

Segundo as instruções de preparação do arroz existente no mercado como tendo baixo IG, o arroz deve ser colocado em água durante uma hora numa proporção de 2.25 de água para 1 de arroz, tendo sido a utilizada no presente trabalho. Com o objetivo de verificar o comportamento das variedades da Novarroz com este procedimento, colocaram-se grãos de arroz imersos em água destilada, a temperatura ambiente, durante 1 hora previamente às determinações químicas.

Selecionaram-se variedades de arroz tendo em conta o valor do IG, nomeadamente, variedades com alto e baixo IG, referências comerciais e variedades de interesse.

Os parâmetros humidade, amido total, amido resistente, amilose, IG e proteína submetido à imersão foram determinados para as variedades Indica 6-16P, Indica 7-I, Indica 7-NP, Indica 7-N, Indica 8-16P, Indica 8-16, Indica 15-16P, Indica 15-16, Indica 1-4, Indica 1-16, Indica 11-1, Indica 11-2, Indica 12-2, Indica 17-16, Indica 18-16, Comercial-M11, Comercial-M12, Comercial-M16, Comercial-R12, Comercial-R13, Comercial-PS, Japónica 1-14, Japónica 1-16P, Japónica 1-16, Japónica 16-16, Japónica 16-I, Japónica 16-4P e Japónica 16-4.

## 5.9 Análise por espectroscopia de infravermelho

A espectroscopia de infravermelho consiste na análise de frequências de vibração quando se incide um feixe de luz infravermelha na amostra. As frequências de ressonância estão relacionadas com a forma, massa e níveis de energia da molécula. Assim, quando um feixe de luz infravermelha incide na amostra, obtém-se um espectro de transmissão ou absorção de radiação ultravioleta [161].

Os espectros foram adquiridos num espectrómetro de infravermelho Alpha da *Bruker* com um acessório de ATR de uma única reflexão. Foram recolhidos 64 *scans* com resolução 4.

Para analisar o arroz, colocou-se arroz moído com granulometria inferior a 1.0 mm de modo a cobrir toda a área do cristal. Para analisar a água de imersão, colocaram-se 3 µL da amostra líquida sobre o cristal e secaram-se com um secador de cabelo a temperatura ambiente antes de realizar o espectro.

## 5.10 Análise estatística

Na determinação das características físicas e humidade foram feitos apenas um ensaio, não sendo possível fazer a análise estatística. Na determinação do conteúdo proteico, foram realizadas duas réplicas e na determinação dos restantes parâmetros (determinação de amilose, amido total e resistente e Índice Glicémico), foram realizadas três réplicas.

Foi efetuado o Teste de *Dixon* aos resultados com 3 réplicas de modo a determinar se existem valores considerados anormais em relação ao conjunto de valores.

Aplicou-se também a ANOVA pelo teste de *Tuckey* ( $p < 0.05$ ) utilizando o programa Statistica 10.

As correlações entre os vários parâmetros foram feitas através da correlação de *Pearson* ( $p < 0.05$ ), utilizando também o programa Statistica 10.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Características físicas do arroz

A qualidade do grão de arroz depende das características físicas e químicas, variando entre regiões, solos e climas [162].

As características físicas do grão de arroz são bastante importantes na escolha do arroz por parte do consumidor e, por isso mesmo, a Novarroz assume uma postura cuidadosa em relação a estes parâmetros, como a aparência do arroz, nomeadamente em termos de comprimento e largura do grão e respetiva razão e grau de brancura. Na Figura 21 encontram-se ilustradas as dimensões dos grãos analisados no presente trabalho. As setas presentes na figura têm como objetivo a diferenciação das variedades.

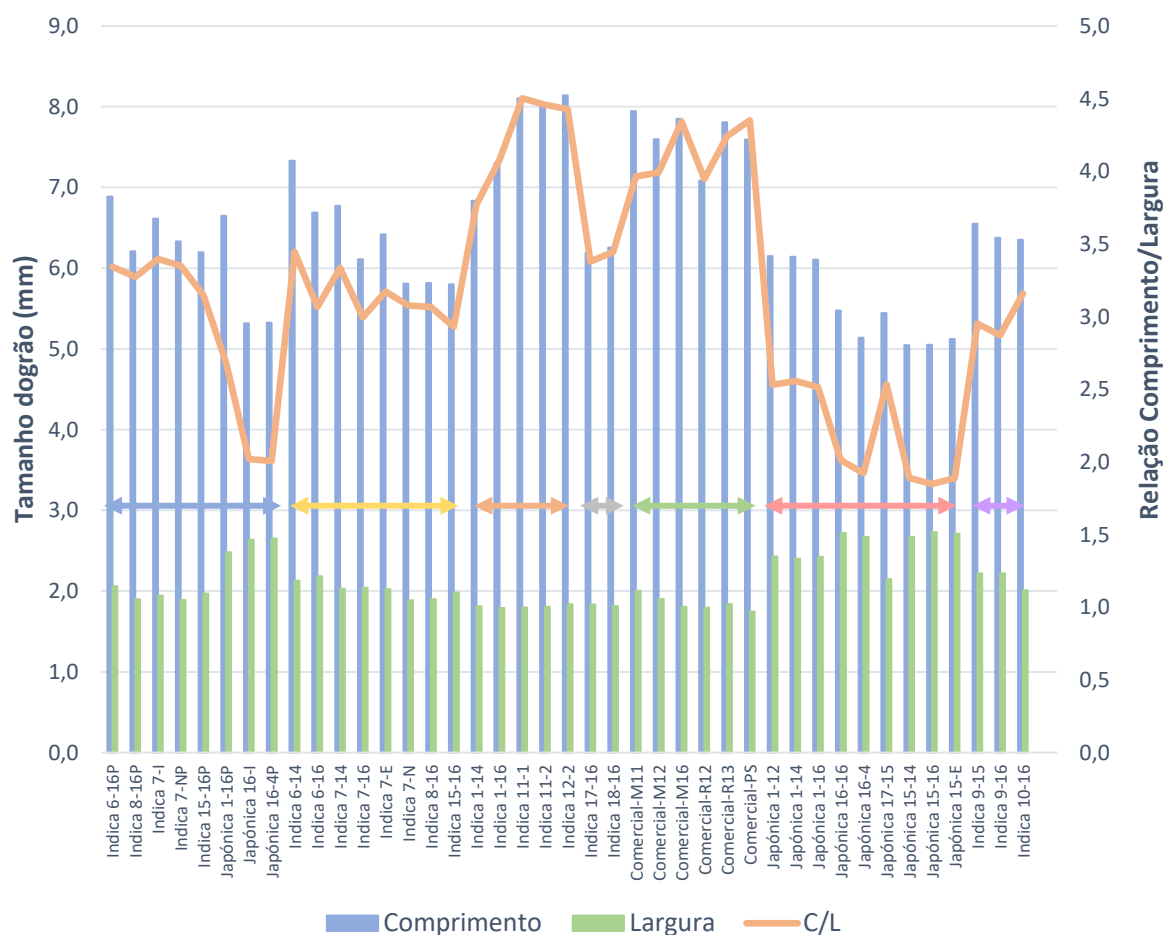


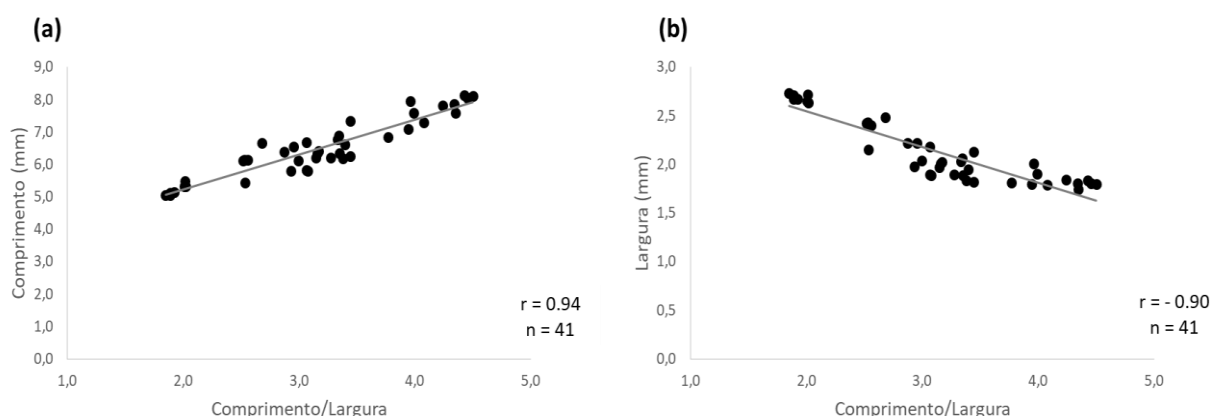
Figura 21 Comprimento, largura e respetiva razão comprimento/largura.

Segundo a Figura 21 verifica-se que as subespécies de arroz *Indica* e os grãos comerciais têm um maior comprimento e uma menor largura, resultando assim numa maior razão comprimento/largura do que o verificado nas subespécies *Japónica*. A subespécie *Indica*, ou vulgarmente conhecida como Agulha, tem comprimento superior a 6.0 mm e uma razão comprimento/largura do grão superior a 3.0, ao contrário do que acontece no caso do arroz *Japónica* que tem a razão comprimento/largura inferior a 3.0.

As variedades de arroz que se encontram em película apresentam um grão de maiores dimensões do que o arroz da mesma variedade, uma vez que o arroz branqueado passou pelo processo de branqueamento (etapa de remoção das camadas mais externas do grão em película) diminuindo o tamanho do mesmo.

Os valores obtidos das dimensões do grão e a respetiva classificação encontram-se de acordo com a legislação e regulamentos vigentes [146,147].

Verifica-se experimentalmente que o comprimento e a razão comprimento/largura do grão relacionam-se positivamente,  $r = 0.94$  ( $p < 0.05$ ), ao contrário do verificado entre a largura e a razão comprimento/largura,  $r = -0.90$  ( $p < 0.05$ ) como evidenciado na Figura 22. O comprimento e a largura são inversamente proporcionais ( $r = -0.71$ ,  $p < 0.05$ ).

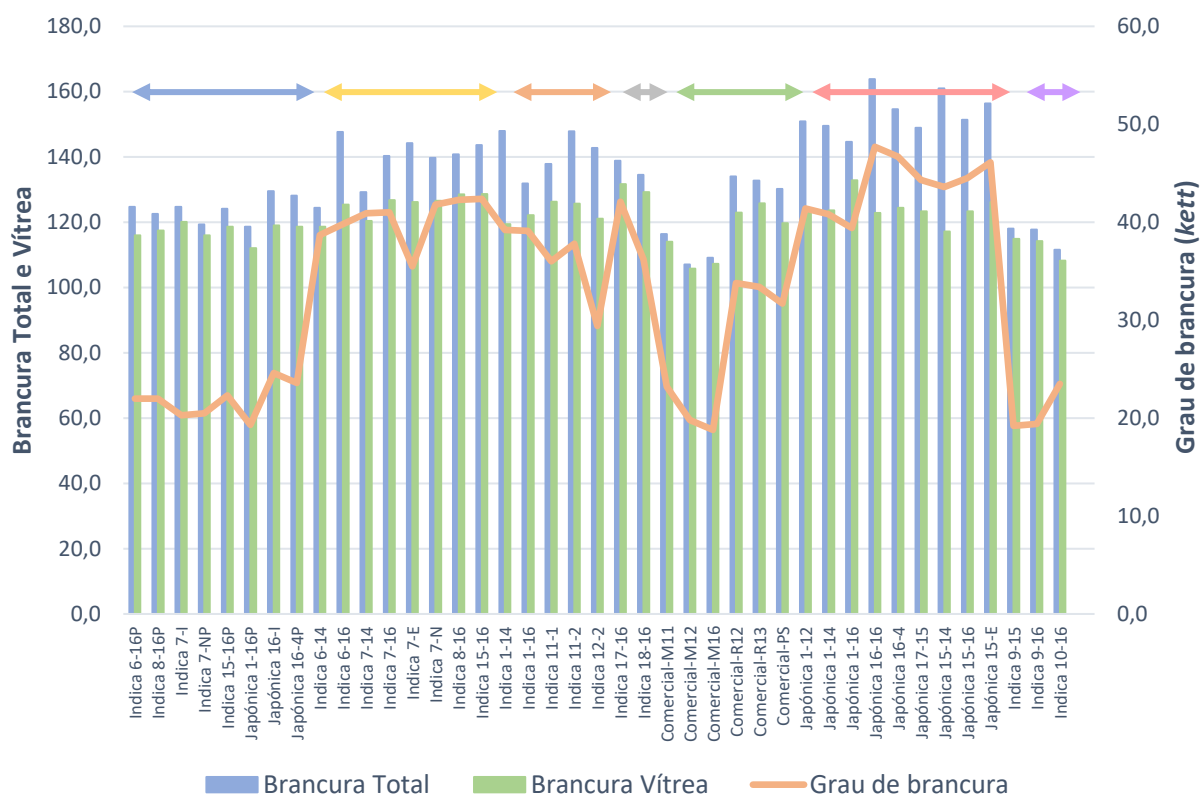


**Figura 22** Correlação positiva entre o comprimento do grão e a razão comprimento/largura (a) e correlação negativa entre a largura e a razão comprimento/largura (b).

As razões obtidas encontram-se de acordo com a literatura [163–165].

Outro parâmetro tido em conta pelo consumidor é a brancura e presença de zonas gessadas no grão.

Como este parâmetro determina também a qualidade, a aceitação e, por sua vez, o preço do produto, a brancura do arroz é um parâmetro bastante importante na empresa. Na Figura 23 encontram-se evidenciadas as brancuras total e vítrea e respetivo grau de brancura (em escala *kett*) das variedades estudadas. As setas presentes na figura têm como objetivo a diferenciação das variedades.



**Figura 23** Brancura das variedades estudadas (brancura total, vítrea e *kett*).

Tendo como base a Figura 23, verifica-se que a brancura total varia entre 107.1 e 163.8 (Comercial-M12 e Japónica 16-16, respetivamente). A brancura vítrea varia entre 105.8 e 132.8 (Comercial-M12 e Japónica 1-16, respetivamente).

O grau de brancura, vulgarmente denominado por *kett*, não é uniforme entre as várias variedades, existindo apenas a relação entre o grau de branqueamento e o valor de brancura, ou seja, quanto maior o grau de branqueio do arroz, maior é o valor do grau de brancura. O grau de brancura das variedades estudadas oscila entre 18.8 (Comercial-M16) e 47.7 (Japónica 16-16).

Verifica-se também que as variedades que se encontram em película apresentam menores valores de brancura vítrea e total e *kett* do que as respetivas variedades no estado branqueado.

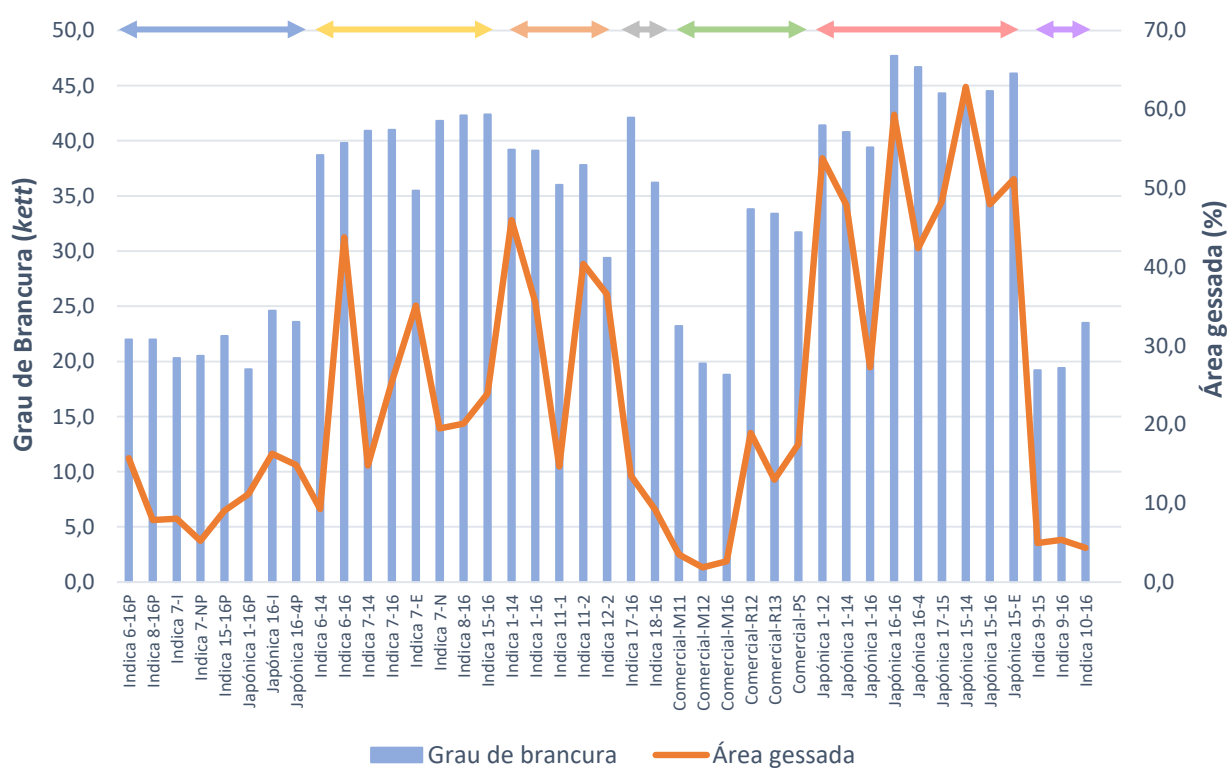
De uma forma geral, as amostras da subespécie *Japónica* apresentam uma maior brancura total e também valores superiores de brancura em *kett*. As variedades comerciais e as que se encontram em película apresentam um menor grau de brancura, uma vez que as variedades comerciais foram submetidas a um tratamento prévio de secagem e, no caso das variedades integrais, não ocorreu o branqueamento, tendo por isso uma coloração mais escura, traduzindo-se num menor grau de brancura.



As áreas gessadas dos grãos de arroz consistem em camadas esféricas não organizadas de grânulos de amido com espaços de ar entre estas. As áreas translúcidas dos grãos, pelo contrário, consistem em grânulos poligonais densamente empacotados [166–168]. A origem dos grãos gessados é diversa, contudo, destacam-se humidades e temperaturas elevadas durante a maturação e colheita do arroz como principais origens [169,170].

A quantidade dos grãos gessados afeta a qualidade do arroz cozido se estiver em proporções superiores a 15% [171].

Na Figura 24 encontram-se representados os valores do grau de brancura (*kett*) e a área gessada das amostras estudadas. As setas presentes na figura têm como objetivo a diferenciação das variedades.



**Figura 24** Grau de brancura das variedades estudadas e respetiva área gessada.

Segundo os dados da Figura 24, verifica-se que a subespécie *Japónica* tem uma maior percentagem de área gessada do que a subespécie *Indica*, Comercial e variedades Integrais. Os grãos gessados contêm menos amilose e, por isso, têm uma maior capacidade de absorção de água do que os grãos translúcidos, sendo característico das variedades da subespécie *Japónica* [168], [172].

A área gessada dos grãos varia entre 1,8% (Comercial-M12) e 62,9% (Japónica 15-14).

Verifica-se também uma relação positiva,  $r = 0.50$  ( $p < 0.05$ ) entre a extensão da área gessada e a largura do grão, ou seja, os grãos de arroz com menor largura tendem a ter uma menor área gessada, corroborando o mencionado por Adu-Kwarteng *et al.* (2003) [173].

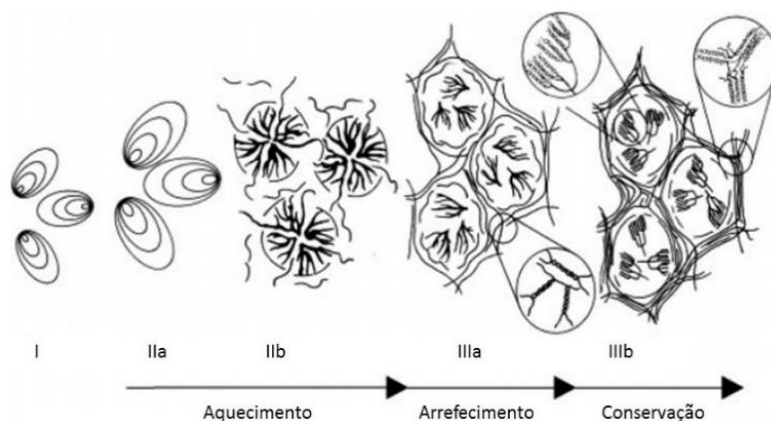
Tendo como base os dados atrás mencionados, podem ser estabelecidas relações entre os parâmetros. O grau de brancura (em escala *kett*) relaciona-se positivamente com a brancura total do grão ( $r = 0.87$ ,  $p < 0.05$ ), com a brancura vítrea do grão ( $r = 0.74$ ,  $p < 0.05$ ) e com a área gessada do grão ( $r = 0.76$ ,  $p < 0.05$ ).

O valor do *kett* relaciona-se intensamente com a brancura do grão, sendo já expectável, pois os grãos que refletem mais luz são mais brancos e, por isso, têm um maior valor de *kett*.

## 6.2 Propriedades reológicas do arroz

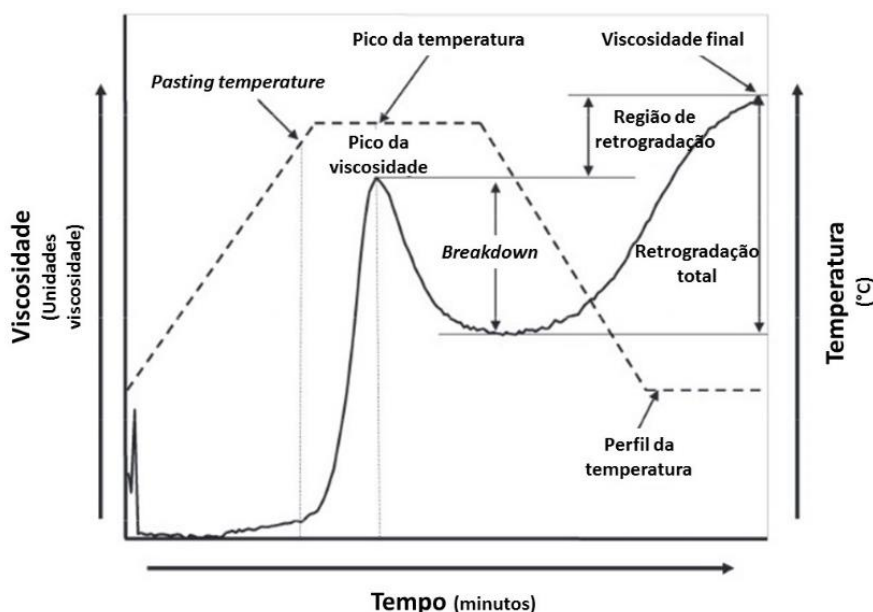
A viscosidade do amido e a consistência do gel formado durante a cozedura determinam a textura e estabilidade dos alimentos, determinando de forma preponderante a qualidade e sabor do arroz bem como a aceitabilidade do produto por parte do consumidor [174].

A determinação das variações da viscosidade dos grânulos do amido e respetiva gelatinização ao longo do processo de cozedura do arroz são obtidas através do RVA [175]. Durante este processo, os grânulos de amido (Figura 25 I) absorvem água (Figura 25 IIa) até ocorrer a rotura dos mesmos (Figura 25 IIb) e, a temperaturas mais baixas, a posterior reorganização das cadeias desagregadas e gelatinizadas de amilose e amilopectina em estruturas mais ordenadas (processo denominado por retrogradação do amido) (Figura 25 IIIa e IIIb) [176–178].



**Figura 25** Evolução da estrutura dos grânulos de amido ao longo de um ensaio RVA (adaptado de [179]).

Na Figura 26 encontra-se ilustrado um perfil RVA e as respectivas definições dos vários parâmetros fornecidos.

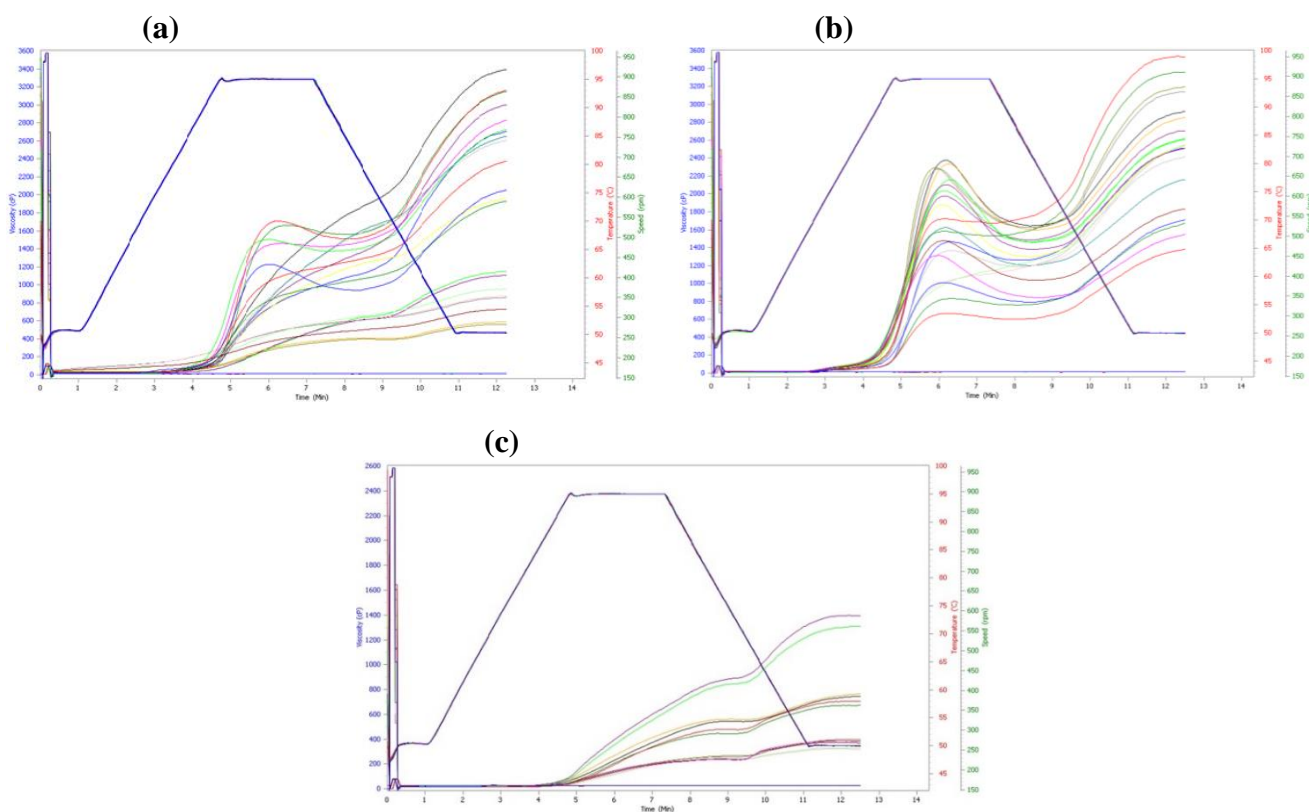


**Figura 26** Perfil típico de um ensaio RVA (adaptado de [180]).

Tendo em conta o ensaio RVA representado na Figura 26, verifica-se que a temperatura aumenta gradualmente, existindo o parâmetro *Pasting temperature* que indica a temperatura mínima necessária para cozinhar o arroz [178,181]. A partir desta temperatura, os grânulos de amido absorvem a água do meio (a água infiltra-se inicialmente nas zonas amorfas do grânulo até atingir as zonas cristalinas) aumentando de tamanho, sendo evidenciado através do aumento da viscosidade até se atingir o Pico da viscosidade. Neste momento, os grânulos de amido excedem a capacidade de absorção de água, ocorrendo a rotura dos mesmos e a dispersão as moléculas do amido na fase aquosa, fazendo assim com que diminua a viscosidade da amostra até ao momento em que a temperatura começa a diminuir, atingido o mínimo da viscosidade da amostra [49].

Como a temperatura diminui gradualmente, as moléculas de amido reorganizam-se numa estrutura organizada, envolvendo as moléculas de amilose e amilopectina. Esta fase é denominada por Retrogradação, demonstrando-se num aumento da viscosidade da amostra até à conclusão do ensaio. A Viscosidade final evidencia a capacidade da amostra em formar uma pasta depois de cozinhada e arrefecida [178,181,182].

Na Figura 27 encontram-se ilustrados os perfis das variedades estudadas.

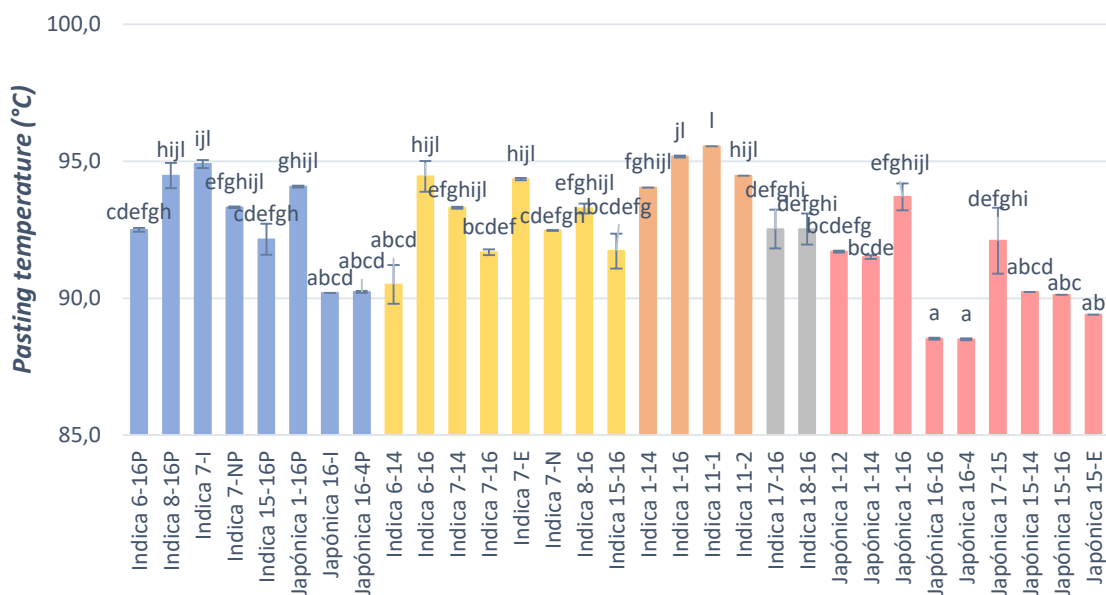


**Figura 27** RVA das subespécies *Indica* (a), *Japónica* (b) e Comercial (c).

A Figura 27 mostra claramente as diferenças reológicas entre as subespécies *Indica*, *Japónica* e variedades Comerciais. O arroz da subespécie *Indica* apresenta o Pico da viscosidade e a Vala da viscosidade inferior ao arroz *Japónica*, ou seja, as variedades *Japónica* têm uma maior capacidade de absorção de água que as variedades *Indica*.

Em contrapartida, o arroz Comercial apresenta características mais próximas ao arroz *Indica*, mas com valores dos parâmetros mais reduzidos.

Na Figura 28 estão ilustrados os valores da *Pasting temperature* das amostras estudadas.



**Figura 28** Parâmetro *Pasting temperature* fornecido pelo RVA e respetiva análise e determinação de *Tuckey* HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

Tendo em conta os dados fornecidos pela Figura 28, conclui-se que a temperatura mínima para cozer o arroz varia entre  $88.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  (Japónica 16-4) e  $95.6 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$  (Indica 11-1), o que se encontra de acordo com estudos anteriores [183–186].

Conclui-se também que a subespécie *Indica* apresenta uma *Pasting temperature* superior à subespécie *Japónica*. Segundo Lin *et al.* (2010) [187], as ligações entre as moléculas de amilose são estabelecidas por fortes pontes de hidrogénio fazendo com que a gelatinização do amido da subespécie *Indica* tenha uma maior dificuldade em ocorrer espontaneamente do que a pasta de amido com baixo teor em amilose (subespécie *Japónica*), refletindo-se na necessidade de maior temperatura para iniciar a gelatinização do amido [188,189].

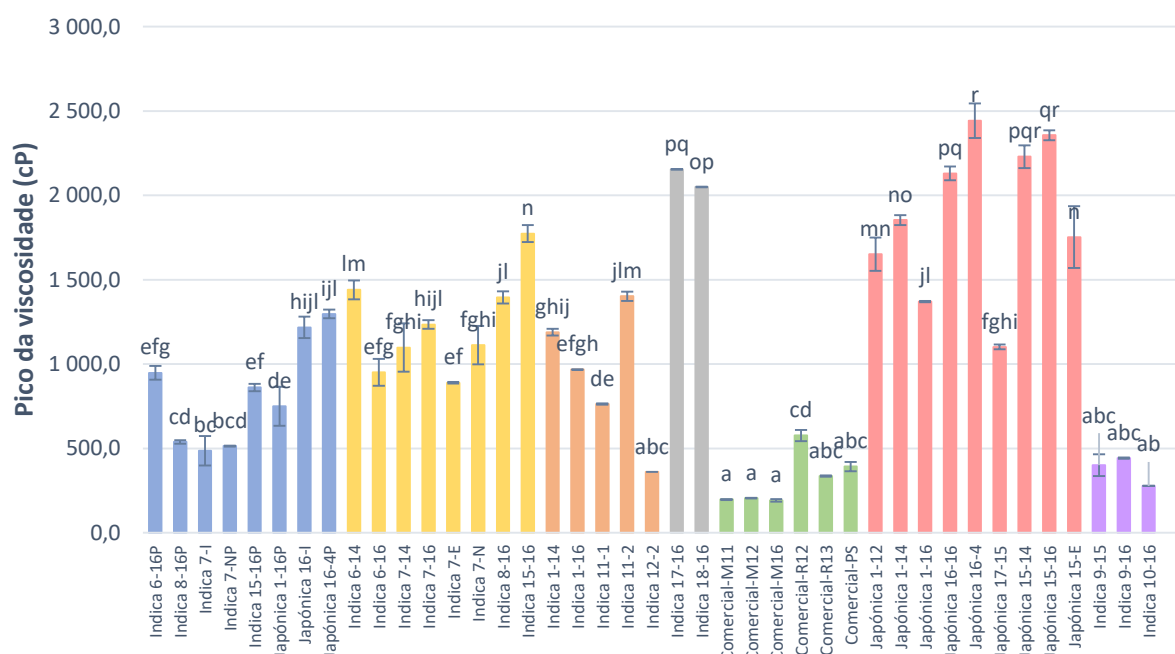
As variedades Indica 1-14, Indica 1-16, Indica 11-1 e Indica 11-2 têm uma *Pasting temperature* elevada, ou seja, necessitam de mais calor para iniciar a gelatinização do amido.

Verifica-se também que todas as variedades em película, à exceção da variedade Indica 6-16P, necessitam de temperaturas mais altas para que ocorra a gelatinização do que as respetivas variedades no estado branqueado. Os grãos de arroz, quando em película, apresentam uma maior diversidade de constituintes, o que dificulta a gelatinização, levando à necessidade de uma maior temperatura para que o processo ocorra.

Estatisticamente, as variedades Japónica 16-16 e Japónica 16-4 são bastante semelhantes entre si e completamente distintas da variedade Indica 11-1.

Destaca-se que este parâmetro deu erro nas variedades Indica 9-15, Indica 9-16, Indica 10-16, Indica 12-2, Comercial-M11, Comercial-M12, Comercial-M16, Comercial-R12, Comercial-R13 e Comercial-PS. Segundo a literatura, a indeterminação da *Pasting temperature* revela a fraca gelatinização dos grânulos do amido, não sendo por isso possível determinar este parâmetro [190]. De facto, estas variedades sofreram processos prévios que indeterminam este parâmetro.

Outro parâmetro bastante importante para definir as propriedades reológicas é o Pico da viscosidade, representado na Figura 29.



**Figura 29** Parâmetro Pico da viscosidade fornecido pelo RVA e respetiva análise e determinação de *Tuckey HSD* e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

O Pico da viscosidade das amostras estudadas varia entre  $192.0 \pm 7.1$  cP (Comercial-M16) e  $2443.0 \pm 101.8$  cP (Japónica 16-4).

A partir dos dados evidenciados na Figura 29, verifica-se claramente uma superioridade de valores do Pico da viscosidade na subespécie *Japónica* (tanto no estado em película como branqueado), ao contrário do que se verifica com a subespécie *Indica* e variedades Comerciais. Este resultado corrobora o mencionado por Lin *et al.* (2010) [187], Park *et al.* (2007) [191] e Patindol *et al.* (2009) [192]. A amilose liga-se aos lípidos, inibindo a intumescência dos grânulos, originando um menor Pico da viscosidade nas

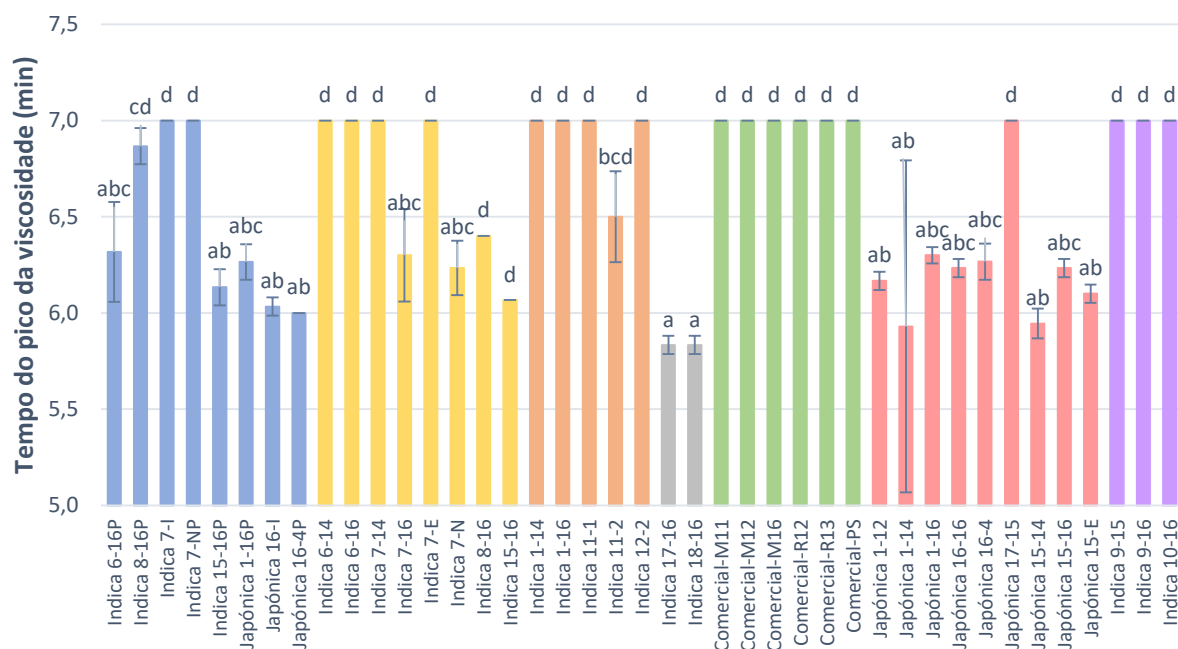
variedades com maior proporção de amilose [193]. Contudo, existem três variedades *Indica* que se destacam das demais, devido à elevada viscosidade que o Pico aparenta, nomeadamente a Indica 15-16, Indica 17-16 e Indica 18-16. Este destaque deve-se às características próprias destas variedades. Por outro lado, as variedades Comerciais e as que sofreram tratamento prévio de secagem têm Picos da viscosidade mais baixos, ou seja, têm capacidades de absorção de água muito reduzidas.

Comparando as variedades no seu estado branqueado e em película, verifica-se que o Pico da viscosidade é inferior nas variedades em película e superior quando os grãos são branqueados. Segundo Perdon *et al.* (2001) [194], o Pico da viscosidade aumenta proporcionalmente com o grau de branqueamento: a  $\alpha$ -amilase existente nas camadas periféricas do grão faz com que o tamanho dos grânulos seja reduzido e assim, diminui a viscosidade dos mesmos. Como no decurso do branqueamento estas camadas periféricas são removidas, os grânulos do amido não sofrem a ação enzimática, mantendo o seu tamanho. Assim, quando comparadas às respetivas variedades em película, a viscosidade é maior [195].

As variedades Indica 6-14, Indica 1-14, Comercial-R12 e Japónica 1-14 têm um Pico da viscosidade superior às variedades Indica 6-16, Indica 1-16, Comercial-R13 e Japónica 1-16, respetivamente, sendo demonstrada uma superioridade de valores do Pico da viscosidade nas variedades de colheitas mais antigas. Durante o intervalo de tempo entre a colheita e o empacotamento, as proteínas do arroz reforçam as suas ligações, embora de forma ténue, reduzindo a disposição do grânulo à rotura. Assim, o grânulo absorve mais água antes de quebrar, fazendo com que a sua viscosidade no Pico seja também maior [196,197]

Estatisticamente, o arroz Comercial e variedades Indica 9-15, Indica 10-16 e Indica 12-2 são estatisticamente semelhantes entre elas. Por outro lado, estas variedades são estatisticamente diferentes das variedades Japónica 16-4, Japónica 15-14 e Japónica 15-16. Destaca-se também o comportamento das variedades Indica 17-16 e Indica 18-16 ser bastante semelhante às variedades da subespécie *Japónica*, ou seja, absorvem uma grande quantidade de água até os grânulos de amido romperem.

Outro parâmetro fornecido pelo RVA é o intervalo de tempo até atingir a viscosidade máxima, como ilustrado na Figura 30.



**Figura 30** Parâmetro Tempo do pico da viscosidade fornecido pelo RVA e respetiva análise e determinação de *Tuckey HSD* e *ANOVA* ( $P < 0.05$ ).

Segundo a Figura 30, verifica-se que os grânulos necessitam de 5.8 a 7.0 minutos para absorver o máximo de água, encontrando-se de acordo com o mencionado por Kong *et al.* (2015) [198].

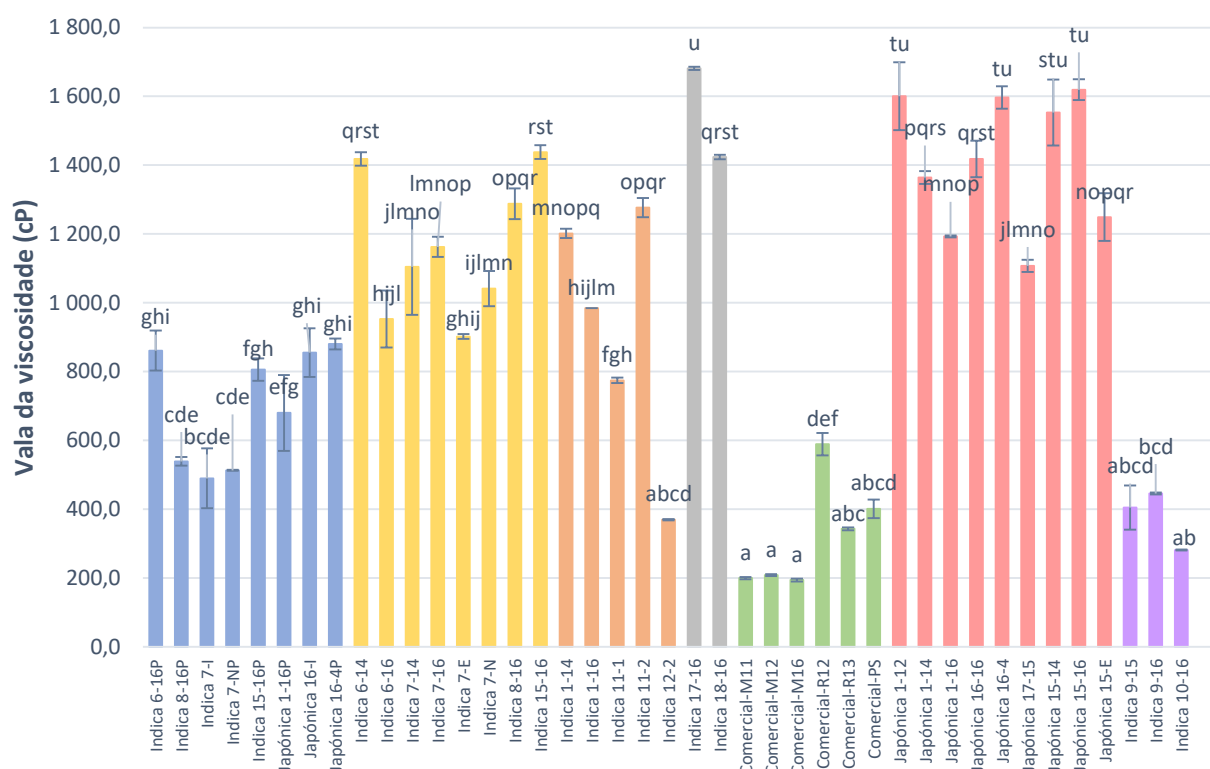
Verifica-se também que as variedades *Indica* e comerciais necessitam de um maior intervalo de tempo até atingirem o máximo da sua viscosidade. O arroz *Japónica* atinge mais rapidamente a sua viscosidade máxima.

Apesar das variedades da subespécie *Indica* necessitarem de um maior período de tempo, as variedades Indica 17-16 e Indica 18-16 são as variedades que atingem a viscosidade máxima mais rápido. À semelhança do sucedido no Pico da viscosidade, estas variedades apresentam comportamentos característicos da subespécie *Japónica*.

Quando os grânulos de amido adquirem a quantidade máxima de água, estes sofrem uma rotura, ocorrendo a gelatinização do amido. A rotura dos grânulos é evidenciada no ensaio RVA através da diminuição da viscosidade da amostra [177].

Na Figura 31 encontram-se representados os valores da Vala da viscosidade (cP) das variedades estudadas.





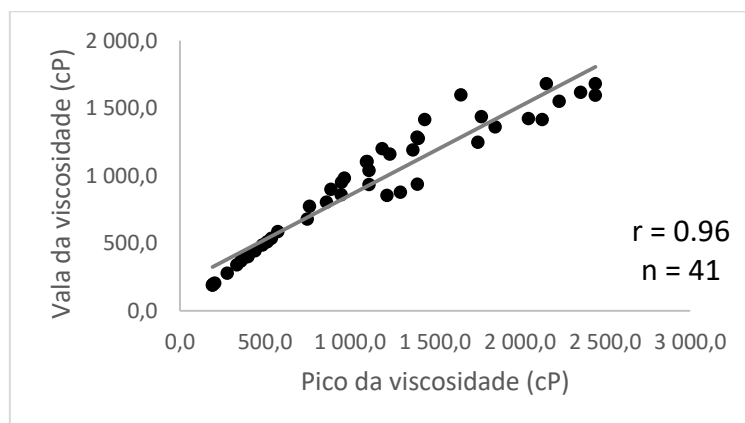
**Figura 31** Parâmetro Vala da viscosidade fornecido pelo RVA e respetiva análise e determinação de *Tuckey HSD* e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

Através da Figura 31, verifica-se que a Vala da Viscosidade varia entre  $194.0 \pm 4.2$  cP (Comercial-M16) e  $1681.5 \pm 5.0$  cP (Indica 17-16), o que se encontra de acordo com Singh *et al.* (2006) [199] e Zhu *et al.* (2017) [200], embora existam algumas variedades com valores muito reduzidos em relação ao mencionado na literatura.

As variedades em película apresenta menores valores de Vala da viscosidade do que as respetivas variedades branqueadas

As variedades comerciais bem como as variedades que foram submetidas a tratamentos térmicos previamente têm menores valores de Vala da viscosidade. Estatisticamente, verifica-se que as variedades comerciais são bastante semelhantes entre si, à exceção da variedade Comercial-R12. Estas variedades são também semelhantes às variedades Indica 9-15, Indica 10-16 e Indica 12-2, como também referido em relação ao parâmetro Pico da viscosidade. Conclui-se que o Pico da viscosidade e Vala da viscosidade são influenciados, de alguma forma, pelos tratamentos térmicos a que as variedades são submetidas. As alterações provenientes do tratamento refletem-se nas propriedades reológicas e químicas dos grãos.

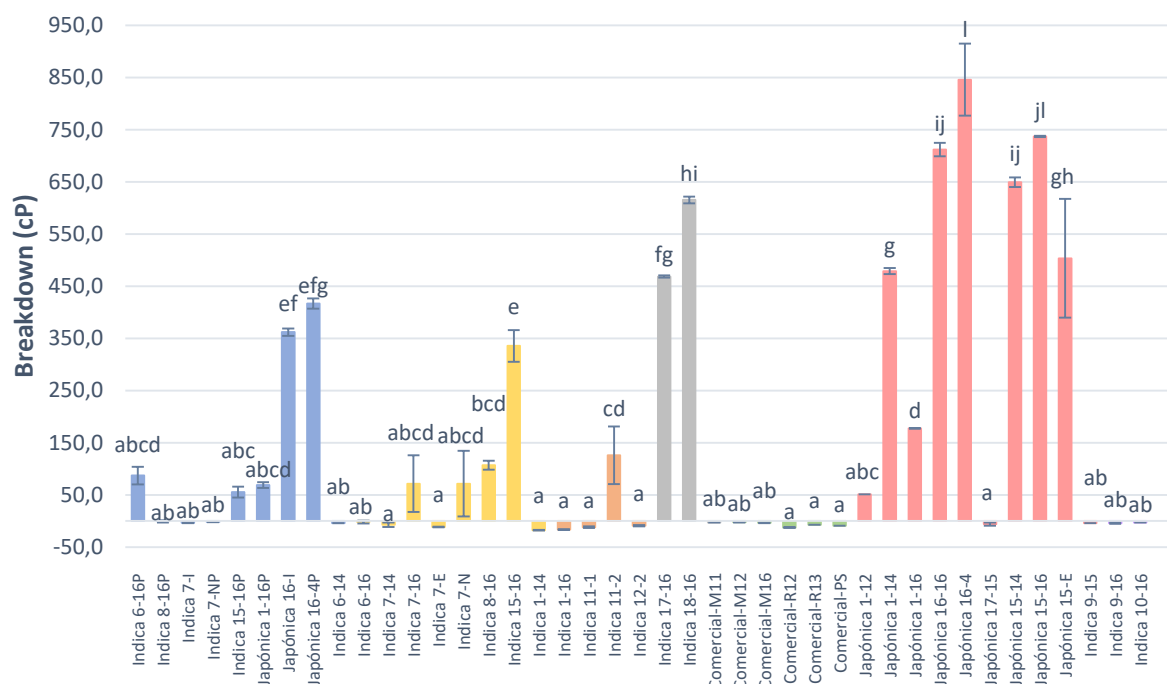
Tendo como suporte a Figura 27 e a Figura 31 verifica-se que, em média, as variedades Comerciais são as que apresentam menores valores da Vala da viscosidade, seguidas das variedades da subespécie *Indica* e, por fim, com maiores valores, as variedades da subespécie *Japónica*. Os valores da Vala da viscosidade são diretamente proporcionais aos valores do Pico da viscosidade, tendo uma razão de *Pearson* igual a 0.96 ( $p < 0.05$ ), como ilustrado na Figura 32.



**Figura 32** Relação de *Pearson* positiva ( $p < 0.05$ ) entre a Vala da viscosidade e o Pico da viscosidade.

Assim sendo, quanto maior a viscosidade do Pico, maior é a viscosidade da Vala. Os grânulos de amido com maior capacidade de absorção de água são os grânulos com maior diminuição da viscosidade mais acentuada.

O parâmetro *Breakdown*, como anteriormente referido, indica a diferença a viscosidade máxima e mínima, estando os valores obtidos representados na Figura 33.



**Figura 33** Parâmetro *Breakdown* fornecido pelo RVA e respectiva análise e determinação de *Tuckey HSD* e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

O *Breakdown* das variedades estudadas varia entre  $-17.5 \pm 0.7$  cP (Indica 1-14) e  $846.0 \pm 69.3$  cP (Japónica 16-4). Os resultados obtidos encontram-se de acordo com You *et al.* (2015) [201].

Tendo como base a Figura 33, são notórias as diferenças entre as várias subespécies de arroz. Por esta razão, o *Breakdown* é um parâmetro utilizado recorrentemente na indústria para a distinção das subespécies e características do arroz. As variedades da subespécie *Japónica* (no estado em película e branqueadas) têm valores superiores de *Breakdown* do que as restantes variedades.

Segundo Kong *et al.* (2015) [198], o *Breakdown* é uma medida da resistência da pasta gelatinizada ao calor e ao corte, tratando-se de um critério na determinação do comportamento do amido durante a cozedura do arroz: se o *Breakdown* for elevado, a capacidade do arroz em suportar o aquecimento é reduzida [202], pois as interações entre as cadeias curtas da amilopectina não são suficientemente fortes para manter a estrutura intacta dos grânulos inchados [203].

Pode-se admitir que as variedades da subespécie *Japónica* não são tão resistentes às forças de corte e aquecimento quanto as variedades da subespécie *Indica*.

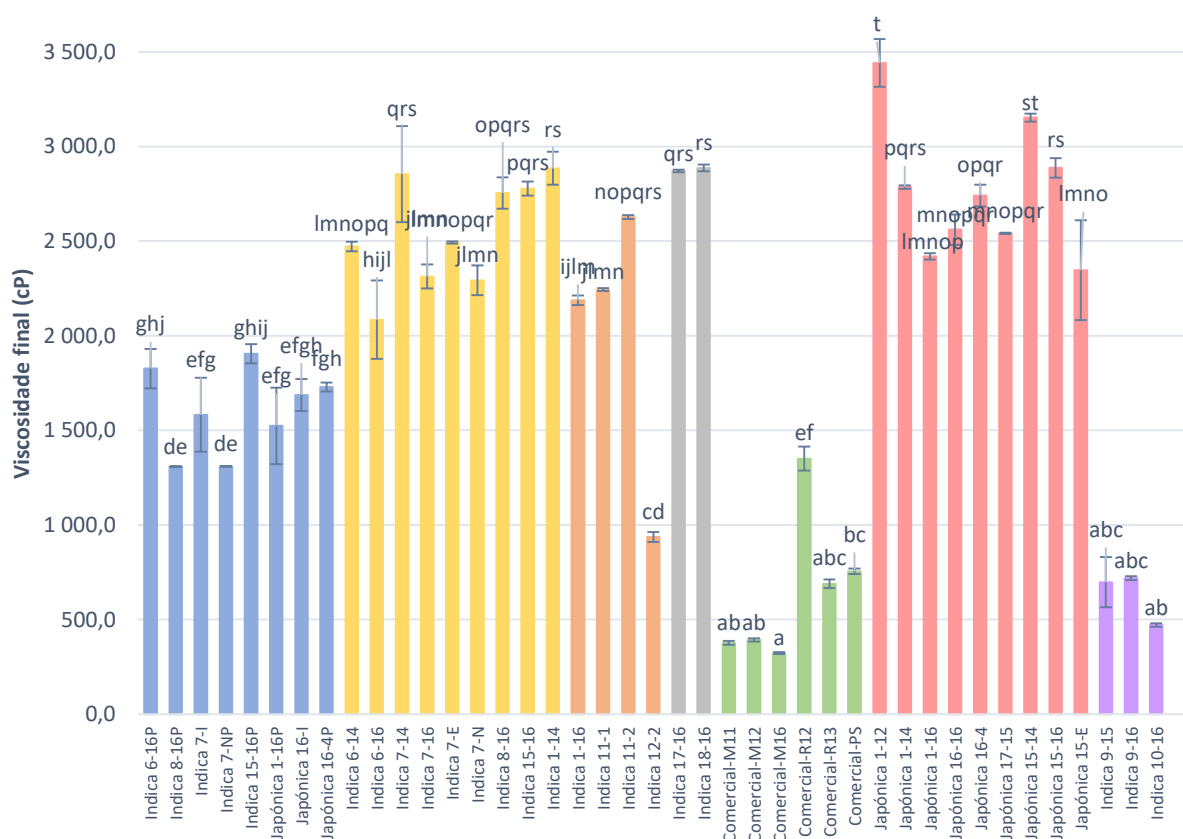
Fazendo a análise estatística dos dados presentes na Figura 33, constata-se que a maioria das variedades é muito semelhante, sendo as variedades Japónica 16-4 e Japónica 15-16 as mais distintas das demais. Entre as variedades da subespécie *Indica*, as

variedades Indica 15-16, Indica 17-16 e Indica 18-16 destacam-se pelo seu elevado valor de viscosidade, apresentando um comportamento idêntico ao das variedades da subespécie *Japônica*.

Experimentalmente, as variedades *Indica* apresentam valores muito próximos de zero e até valores negativos, ao contrário do sucedido com a subespécie *Japônica* (excetuando a variedade Japônica 17-15).

Neste caso, o Pico da viscosidade é inferior à Vala da viscosidade, ilustrando-se na menor diferença entre o máximo e o mínimo da viscosidade na Figura 27 (a) e (c) quando comparado à Figura 27 (b).

A viscosidade no final do ensaio apresenta grande importância pois mostra o comportamento do arroz depois de cozido e arrefecido [178]. Na Figura 34 encontram-se representadas as Viscosidades finais das amostras estudadas.



**Figura 34** Parâmetro Viscosidade final fornecido pelo RVA e respectiva análise e determinação de *Tuckey HSD* e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

A Viscosidade final das variedades estudadas varia entre  $323.0 \pm 5.7$  cP (Comercial-M16) e  $3441.5 \pm 126.6$  cP (Japônica 1-12), encontrando-se de acordo com You *et al.* (2015) [201] e Hasjim *et al.* (2013) [204].

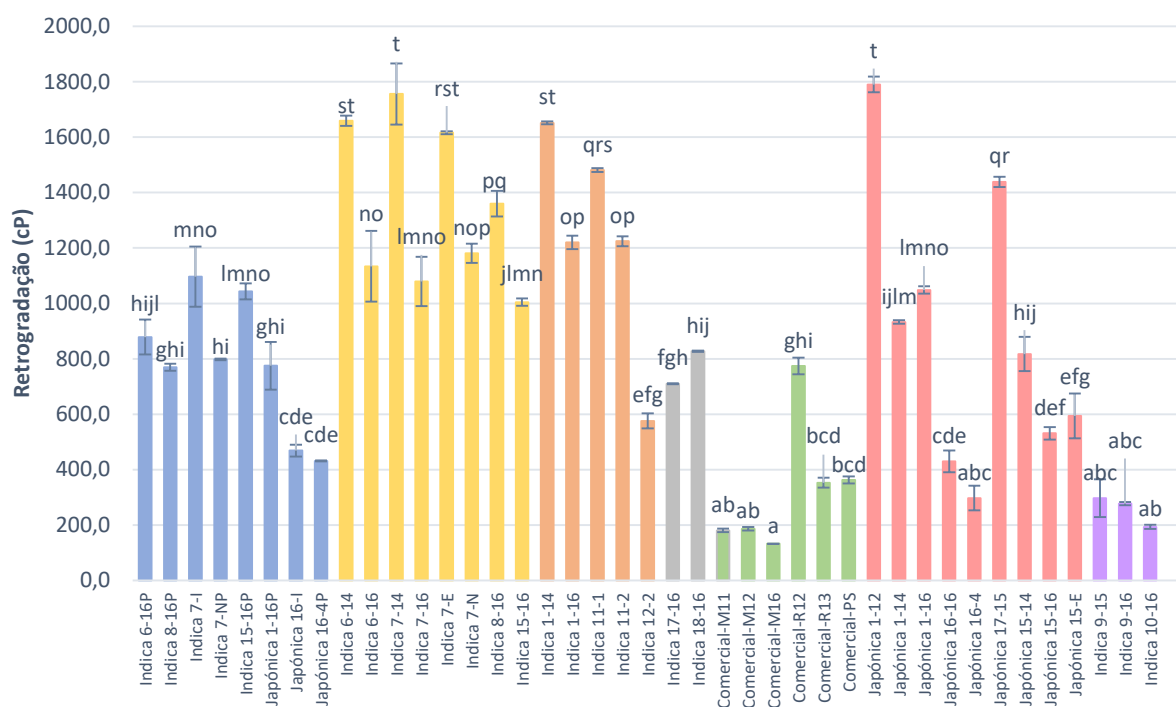
Verifica-se que as variedades com menores Viscosidades finais são as Comerciais e variedades com tratamento térmico prévio, ao contrário do que se verifica com as variedades da subespécie *Japónica* que apresentam os maiores valores de Viscosidade final.

As variedades no estado em película apresentam valores de Viscosidade final menores quando comparadas ao seu estado branqueado. As amílases encontram-se nas camadas periféricas que são removidas durante o branqueamento do grão. Em consequência, os grãos mais branqueados terão menos amílases, não sofrendo de forma intensa a ação enzimática, ou seja, os grânulos mantêm o seu tamanho, refletindo-se numa viscosidade superior.

Com base na Figura 34, constata-se que a Viscosidade final das variedades de colheitas antigas é superior à viscosidade de colheitas mais recentes, encontrando-se de acordo com o mencionado por Zhou *et al.* (2002) [205] e Tran *et al.* (2005) [206].

Estatisticamente, as variedades Indica 9-15, Indica 9-16, Indica 10-16, Comercial-M11, Comercial-M12, Comercial-M16, Comercial-R13 e Comercial-PS são semelhantes entre si. Todavia, estas variedades são completamente distintas das variedades Japónica 1-12 e Japónica 15-14. Este facto já era expectável, uma vez que o comportamento da subespécie *Indica* é diferente do comportamento da subespécie *Japónica*.

Outro parâmetro fornecido pelo RVA é a Retrogradação. A Retrogradação ilustra a capacidade dos grânulos em se reorganizarem (diferença entre a viscosidade final e o pico da viscosidade). Na Figura 35 encontram-se ilustrados os valores da Retrogradação das amostras estudadas.



**Figura 35** Parâmetro Retrogradação fornecido pelo RVA e respetiva análise e determinação de *Tuckey* HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

A retrogradação das amostras estudadas varia entre  $132.5 \pm 0.7$  cP (Comercial-M16) e  $1790.0 \pm 28.3$  cP (Japónica 1-12), estando de acordo com o citado na literatura [199].

A viscosidade da Retrogradação relaciona-se com a quantidade e aumento do volume da amilose dos grânulos gelatinizados [207], sendo por isso superior na subespécie *Indica*. As moléculas gelatinizadas da amilose, a baixas temperaturas, tendem a reorganizarem-se e a formar pontes de hidrogénio mais facilmente do que no caso da amilopectina [208].

As variedades Comerciais (à exceção da variedade Comercial-R12), Indica 9-15, Indica 9-16, Indica 10-16 e Japónica 16-4 apresentam valores muito reduzidos de Retrogradação, além de serem estatisticamente semelhantes. Por outro lado, as variedades Indica 7-14, Indica 7-E, Indica 1-14 e Japónica 1-12 são as que mais se distinguem das variedades comerciais. O comportamento da variedade Japónica 1-12, contudo, é muito semelhante às variedades da subespécie *Indica*.

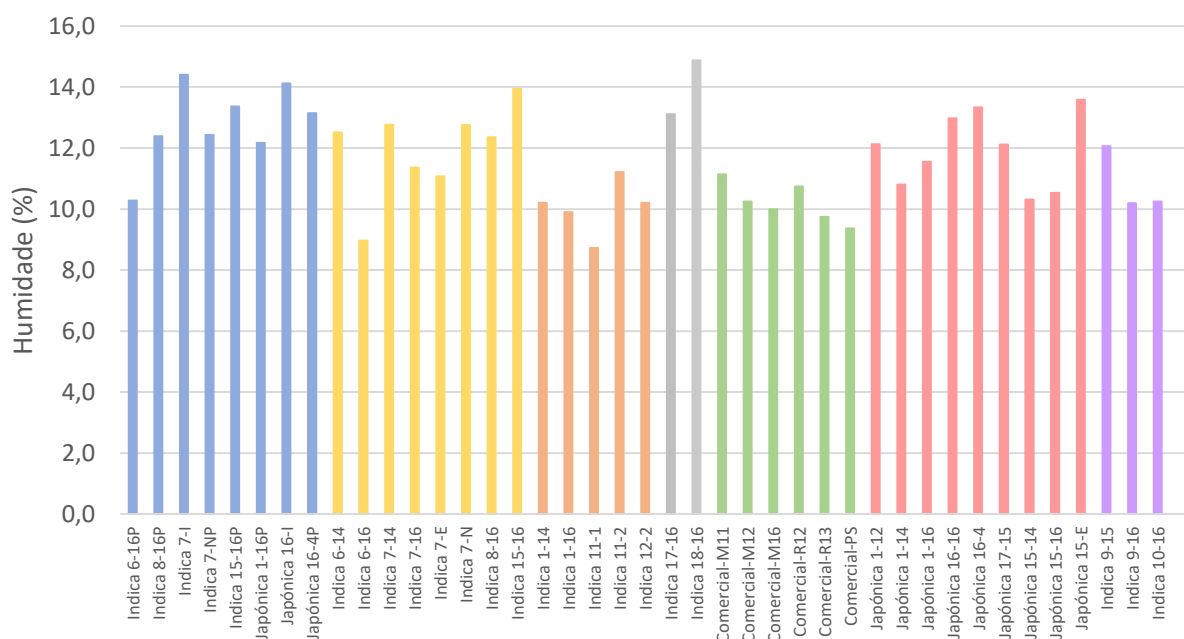
As variedades em película, excetuando a variedade Japónica 16-4P, apresentam valores de Retrogradação menores que as respetivas variedades branqueadas. Efetivamente, o branqueamento do arroz e a quantidade da amilose influenciam esta característica reológica, refletindo-se num aumento ou na conservação da viscosidade no estado branqueado.

Verifica-se também que as variedades de arroz de colheitas mais antigas apresentam maiores valores de Retrogradação. O período de tempo desde o empacotamento até à análise permite intensificar as ligações entre a proteína orizenina, diminuindo as interações amido-proteína. Por isso mesmo, a amilose e amilopectina podem reorganizarem-se de uma forma muito mais estruturada e ordenada, tendo por isso um maior valor de Retrogradação [197].

## 6.3 Humidade do arroz

### 6.3.1 Sem imersão em água

A humidade do arroz aquando a colheita e armazenamento influencia a composição física e química do grão. Segundo a legislação vigente, o arroz destinado ao consumo não pode ser comercializado com humidade superior a 14.3% [146]. Na Figura 36 encontram-se listadas as humidades das variedades estudadas.



**Figura 36** Humidade das amostras de arroz estudadas.

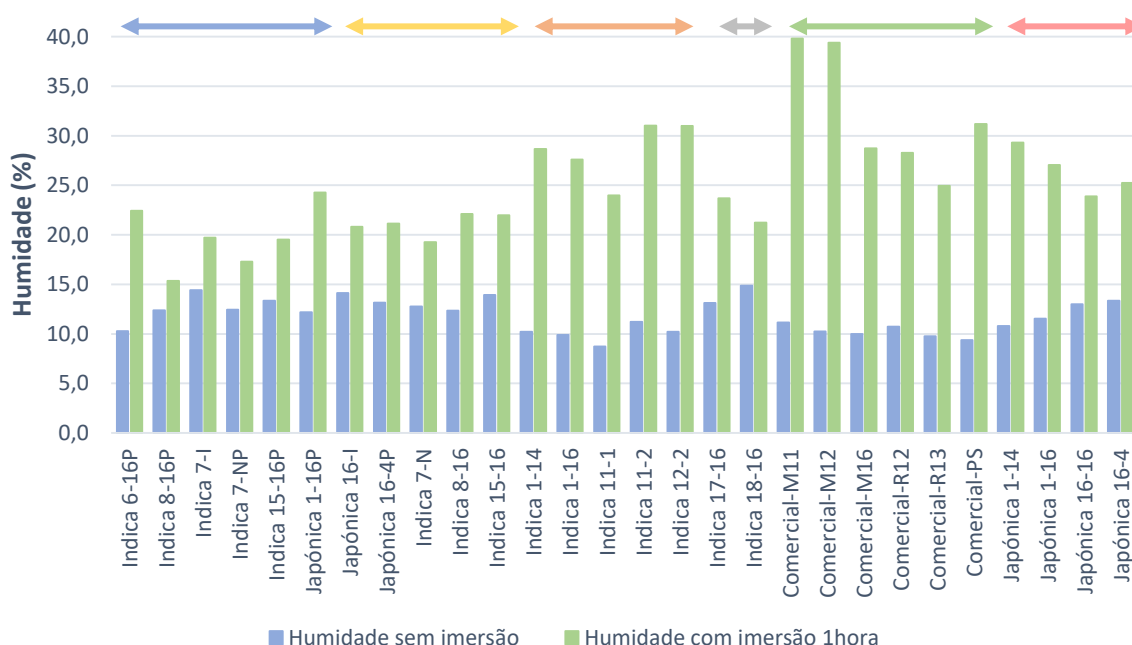
Com base nos resultados evidenciados na Figura 36, verifica-se que a humidade das amostras estudadas varia entre 8.7% (Indica 11-1) e 14.9% (Indica 18-16). Verifica-se também que as variedades com película têm valores de humidade mais elevados. As amostras (excetuando as variedades Indica 7-I, Indica 18-16 e Japónica 16-I) apresentam valores de humidade dentro dos limites legais de comercialização do arroz. As variedades

Indica 7-I, Japónica 16-I e Indica 18-16 deveriam ter uma menor humidade, sendo por isso necessário um processo de secagem antes da sua comercialização.

Para a mesma variedade, quando em película, o grão apresenta uma maior humidade que no seu estado branqueado, facto verificado também por Tran *et al.* (2005) [206].

### 6.3.2 Com imersão em água

Como referido anteriormente, o arroz foi imerso em água durante 1 hora, a temperatura ambiente, de modo a que todos os grãos ficassem submersos. A humidade destas amostras encontra-se evidenciada na Figura 37. As setas presentes na figura têm como objetivo a diferenciação das variedades.



**Figura 37** Humidade das amostras de arroz submetidas a imersão em água durante 1 hora.

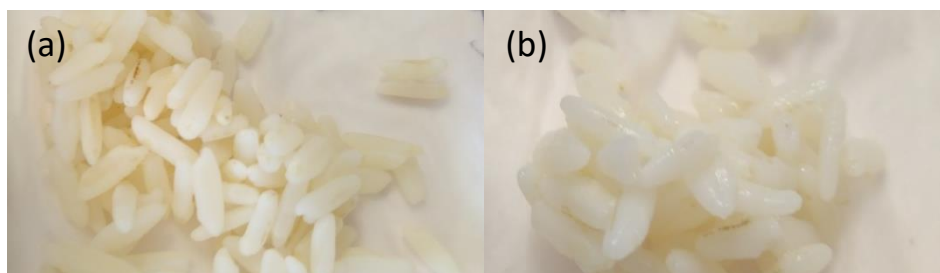
Com base na Figura 37, verifica-se que, ao imergir o arroz em água durante 1 hora, a humidade do arroz aumenta em todas as variedades, podendo variar entre 15.4% (Indica 8-16P) e 39.8% (Comercial-M11).

As variedades Comerciais e Japónicas, na sua generalidade, apresentam valores relativamente elevados de humidade. As variedades Comercial-M11 e Comercial-M12 foram submetidas a processos térmicos prévios que provocam uma maior absorção de água durante a imersão. Ao contrário do verificado nas variedades da subespécie *Indica* que apresenta valores de humidade mais baixos.



Verifica-se também que todas as variedades no estado em película apresentam uma humidade inferior às respetivas variedades no estado branqueado. Através destes resultados, deduz-se que a película presente no arroz integral atua como barreira à difusão da água no grão de arroz [209].

Verificou-se experimentalmente que as variedades Indica 9-15 e Indica 9-16 absorviam a totalidade da água de imersão (Figura 38), encontrando-se completamente gelatinizadas, tendo cor, cheiro, tamanho e textura idênticos ao arroz cozido, o que não se verificou nas outras variedades.



**Figura 38** Representação das variedades Indica 9-15 (a) e Indica 9-16 (b) depois de imersas durante 1 hora, a temperatura ambiente.

Desta forma, as variedades Indica 9-15 e Indica 9-16 não foram caracterizadas em termos de amido total, amido resistente, amilose, proteína e índice glicémico quando imersos durante 1 hora à temperatura ambiente.

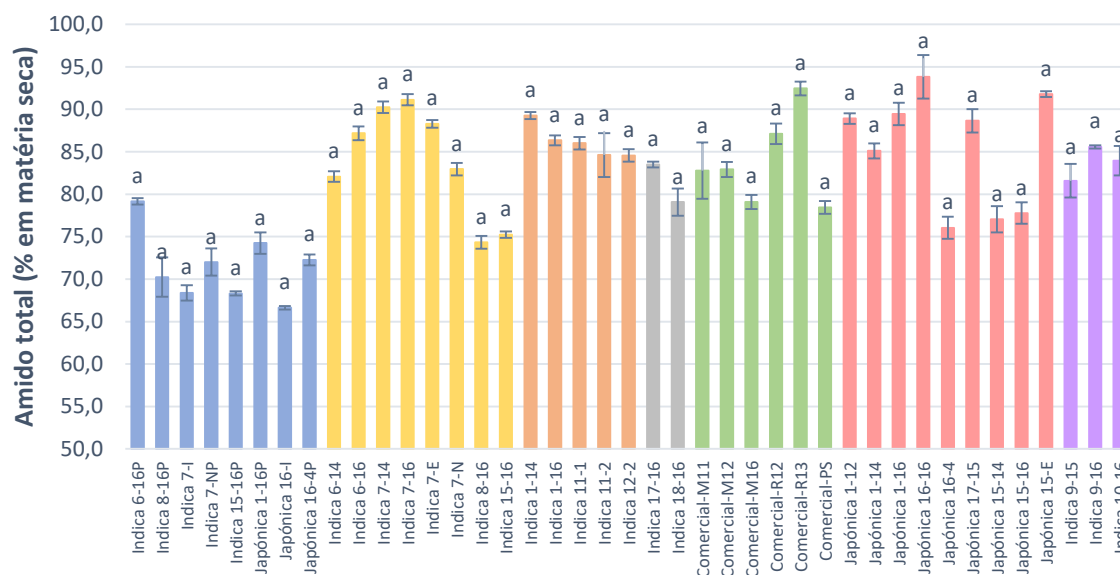
## 6.4 Conteúdo em amido

### 6.4.1 Conteúdo em amido total

#### 6.4.1.1 *Sem imersão em água*

O grão de arroz é composto maioritariamente por amido, constituindo cerca de 90% em matéria seca de arroz branqueado [73]. A quantidade de amido e as interações entre este composto e os demais presentes no endosperma influenciam de forma significativa as características físicas e sensoriais do arroz [26].

Na Figura 39 encontram-se evidenciados os valores de amido total correspondente a cada variedade e respetiva análise estatística.



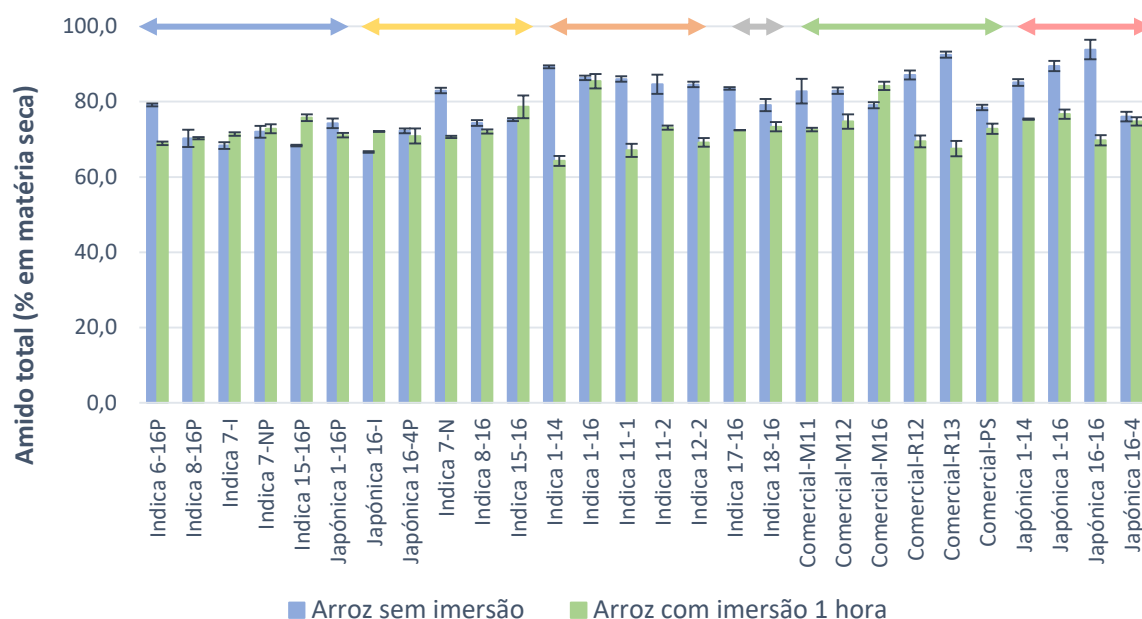
**Figura 39** Conteúdo de amido total (% em matéria seca) por grão de arroz e respectiva determinação de *Tuckey HSD* e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

Segundo a Figura 39, verifica-se que as amostras com menor quantidade de amido total são a Japónica 16-I ( $66.6 \pm 0.2\%$ ), Indica 15-16P ( $68.3 \pm 0.3\%$ ) e Indica 7-I ( $68.4 \pm 0.9\%$ ). Por outro lado, as variedades estudadas com maior porção em amido total são a Japónica 16-16 ( $93.8 \pm 2.6\%$ ), Comercial-R13 ( $92.5 \pm 0.8\%$ ) e Japónica 15-E ( $91.8 \pm 0.3\%$ ).

Segundo os resultados, verifica-se que as variedades em película têm menor quantidade de amido do que as respectivas variedades branqueadas, sendo notórios os reduzidos valores quando comparado às restantes variedades analisadas. Efetivamente, o amido encontra-se, maioritariamente, no endosperma ao contrário de outros compostos como proteínas e lípidos presentes nas camadas mais exteriores do grão. Quando o grão sofre a ação abrasiva proveniente do branqueamento, as camadas externas são removidas aumentando a proporção dos níveis de amido.

#### 6.4.1.2 Em imersão em água

Na Figura 40 estão evidenciados os valores do amido total das várias variedades de arroz quando submetidas à imersão em água durante 1 hora, a temperatura ambiente. As setas presentes na figura têm como objetivo a diferenciação das variedades.



**Figura 40** Conteúdo em amido total (% em matéria seca) do arroz com e sem imersão em água durante 1 hora.

Verifica-se que o arroz quando imerso em água durante 1 hora apresenta valores de amido total entre  $62.3 \pm 1.3\%$  (Indica 1-14) e  $85.4 \pm 8.0\%$  (Indica 1-16).

Segundo os valores evidenciados na Figura 40, verifica-se que, na generalidade, quando os grãos são imersos em água, a percentagem de amido total diminui. De facto, ao imergir o arroz, a água difunde-se no grão fazendo com que os componentes presentes no grão abandonem o mesmo e se difundam no meio exterior, nomeadamente, na água de imersão.

Quando se submetem os grãos à imersão, verifica-se que, no caso das variedades em película, a variação de amido total é reduzida quando comparada às outras variedades. De facto, a película presente nos grãos integrais atua como barreira à difusão da água no grão, limitando assim a saída do amido para a água de imersão [209].

A imersão em água teve um efeito notório nas variedades Indica 1-14, Indica 11-1, Comercial-R12, Comercial-R13 e Japonica 16-16.

As propriedades funcionais do amido são bastante variáveis e influenciadas pela razão amilose/amilopectina e pelas estruturas de outros componentes [210–212]. Assim sendo, é fundamental caracterizar os outros componentes do arroz.

#### 6.4.2 Conteúdo em amilose

Estudos indicam que a amilose desempenha um papel fundamental na diferenciação da textura do arroz cozido [211,213,214], no comportamento de retrogradação,

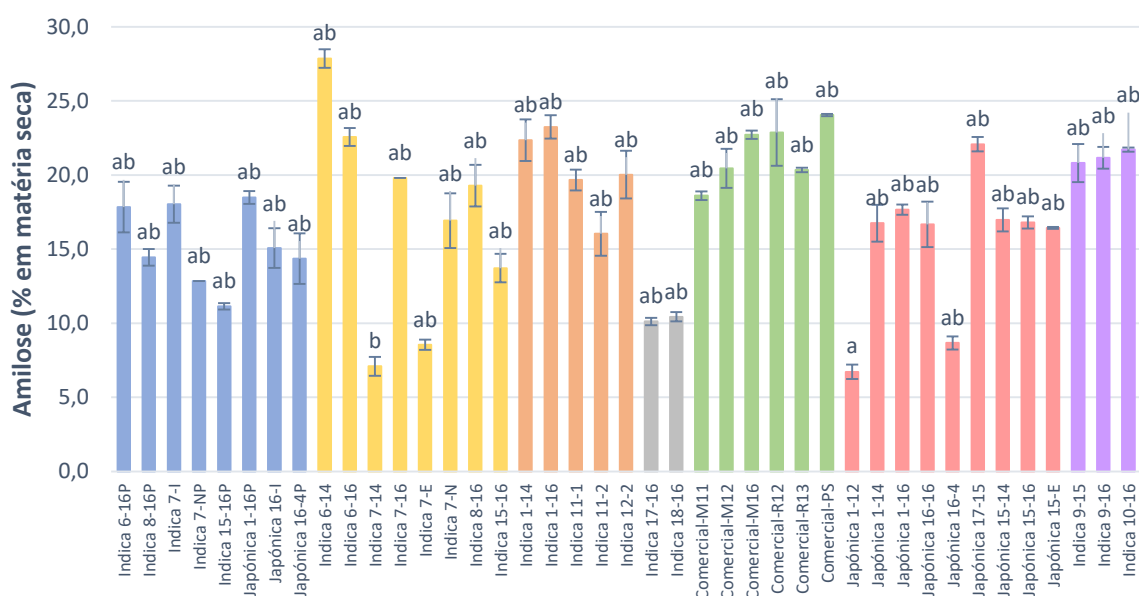
viscoelasticidade e na rigidez do mesmo [186,215,216]. O conhecimento da composição em amilose permite responder da melhor forma às necessidades dos clientes.

Segundo Coffman e Juliano (1987) [17] e Juliano (1992) [31], as variedades de arroz podem ser classificadas como:

- glutinosas (quantidade de amilose inferior a 5%);
- quantidade muito baixa de amilose (conteúdo em amilose varia entre 5 e 12%);
- quantidade baixa de amilose (conteúdo em amilose varia entre 12 e 20%);
- quantidade intermédia de amilose (quantidade de amilose entre 20 e 25%);
- quantidade elevada de amilose (quantidade entre 25 e 33% de amilose).

O arroz considerado como tendo alto teor em amilose tem uma capacidade menor de absorção de água e uma menor velocidade de gelatinização, sendo por isso digerido mais lentamente e, por consequente, tem menor resposta de glucose e insulina no sangue ao contrário do que se verifica no arroz considerado como glutinoso [217]. Assim é preferível a ingestão de arroz com alto teor em amilose.

Na Figura 41 encontram-se representados os resultados obtidos da quantificação da amilose (em matéria seca) das amostras estudadas, através do procedimento de iodo que tem como base a capacidade do iodo formar um complexo de inclusão com a estrutura helicoidal da amilose [28].



**Figura 41** Conteúdo de amilose (% em matéria seca) por grão de arroz e respetiva determinação de *Tuckey HSD* e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

A partir da Figura 41, verifica-se que os valores de conteúdo em amilose variam entre  $6.7 \pm 0.2\%$  (Japónica 1-12) e  $27.9 \pm 0.8\%$  (Indica 6-14).

Tendo como referência a Figura 41, verifica-se que, em média, as variedades de arroz *Japónica* apresentam menores valores de amilose do que as variedades de arroz *Indica* ou Comercial, o que se encontra de acordo a literatura [8,218].

As variedades Indica 7-E e Japónica 1-12, que são as mais antigas (2013/2014 e 2012/2013, respetivamente) destacam-se pelo reduzido conteúdo em amilose.

Verifica-se também que as variedades em película apresentam uma menor quantificação de amilose do que as mesmas variedades no seu estado branqueado, corroborando o mencionado na literatura [206,219,220]. Contudo, as variedades Japónica 1-16P e Japónica 16-4P detêm uma maior quantidade de amilose do que a respetiva variedade de arroz branqueada (Japónica 1-16 e Japónica 16-4P).

As variedades que sofreram tratamento térmico e comerciais têm valores relativamente elevados de amilose, atestando os reduzidos valores do Pico da viscosidade (Figura 29).

Na Tabela 4 encontram-se representadas as classificações de arroz tendo como base a quantidade de amilose.

**Tabela 4** Classificação das variedades de arroz sem imersão em água, segundo a quantidade de amilose.

<i>Classificação</i>	<i>Variedade</i>	
<i>Quantidade extremamente baixa de amilose</i> (5 – 12%)	Indica 7-14	Indica 18-16
	Indica 7-E	Japónica 1-12
	Indica 15-16P	Japónica 16-4
	Indica 17-16	
<i>Quantidade baixa de amilose</i> (12 – 20%)	Indica 6-16P	Japónica 1-14
	Indica 7-16	Japónica 1-16P
	Indica 7-I	Japónica 1-16
	Indica 7-NP	Japónica 16-16
	Indica 7-N	Japónica 16-I
	Indica 8-16P	Japónica 16-4P
	Indica 15-16	Japónica 15-14
	Indica 11-1	Japónica 15-16
	Indica 11-2	Japónica 15-E
	Comercial M-11	

<i>Quantidade intermédia de amilose (20 – 25%)</i>	Indica 6-16	
	Indica 9-15	Comercial-M12
	Indica 9-16	Comercial-M16
	Indica 10-16	Comercial-R12
	Indica 1-14	Comercial-R13
	Indica 1-16	Comercial-PS
	Indica 12-2	Japónica 17-15
<i>Quantidade elevada de amilose (25 – 33%)</i>	Indica 6-14	

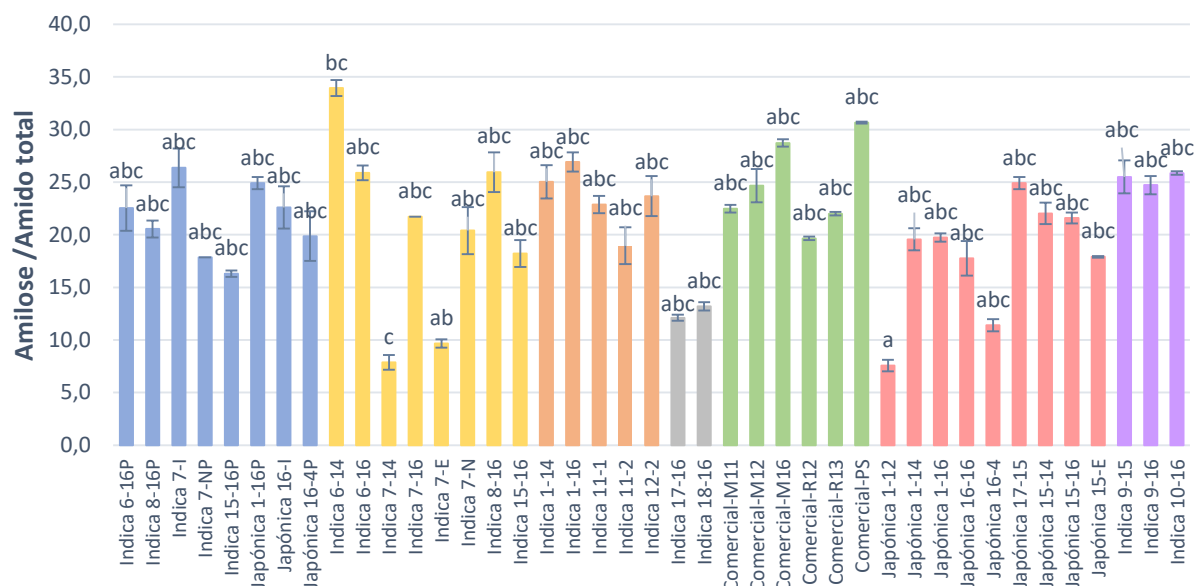
Segundo os dados da Tabela 4, verifica-se que, efetivamente, as variedades Indica 9-15, Indica 9-16, Indica 10-16, Comercial-M12 e Comercial-M16 têm uma quantidade de amilose relativamente alta. Os grãos com esta concentração em amilose, quando são submetidos a tratamentos térmicos, tendem a reduzir as suas viscosidades durante todas as fases do RVA como se pode constatar na Figura 29 [107].

Em alguns parâmetros reológicos, as variedades Indica 17-16 e Indica 18-16 destacaram-se das demais *Indica* por terem uma quantidade baixa de amilose, facto evidenciado por Chitrakorn (2003) [221]. Estas variedades são classificadas como tendo uma quantidade extremamente baixa de amilose, sendo por isso justificadas as suas semelhanças com as variedades da subespécie *Japónica*.

A variedade com maior quantidade de amilose, Indica 6-14, vem confirmar o resultado obtido por Aguiar [157], pois também se verificou uma elevada quantidade de amilose nesta variedade.

O conteúdo em amilose altera as características reológicas do arroz. Segundo Yuryey *et al.* (2004) [222], a amilose diminui a temperatura de fusão dos grânulos de amido após a rotura dos mesmos. Seria espectável que o arroz com maior quantidade de amilose, ou seja, arroz da subespécie *Indica*, absorvesse uma menor quantidade de água e, assim teria uma menor viscosidade no Pico da viscosidade. Experimentalmente, obteve-se como razão de *Pearson* ( $p < 0.05$ ) entre o Pico da viscosidade e a amilose igual a -0.45 e, entre o *Breakdown* e a amilose igual a -0.41.

Na Figura 42 encontra-se ilustrada a razão amilose por quantidade de amido total.

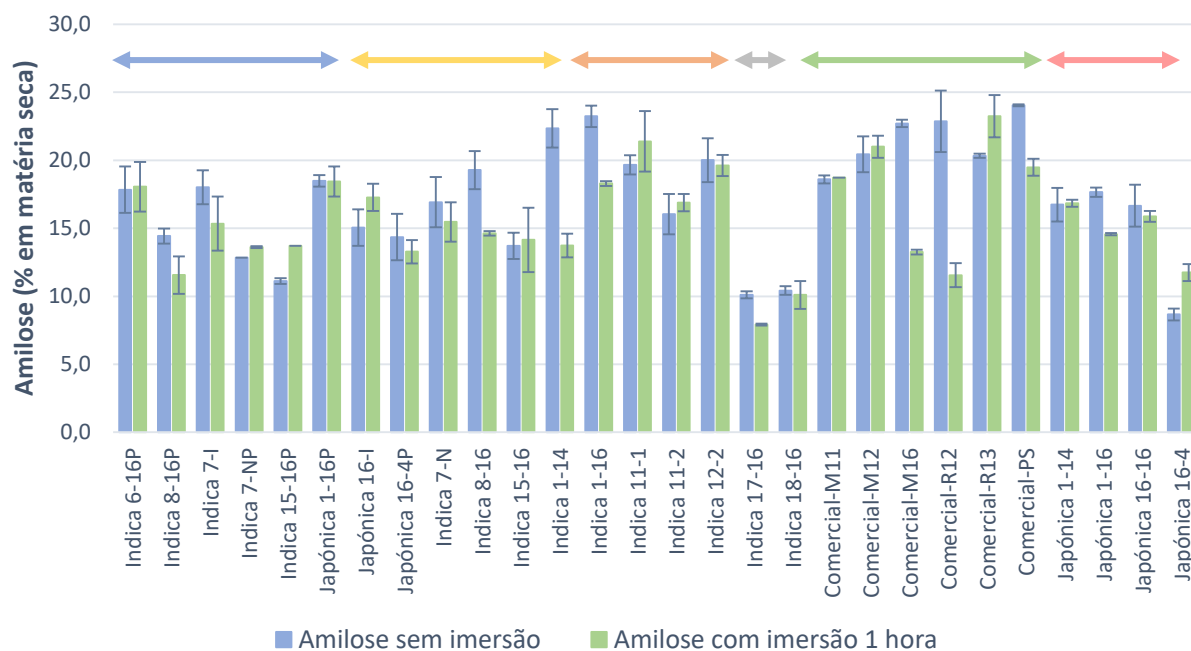


**Figura 42** Conteúdo de amilose / amido total, por grão de arroz.

Segundo a Figura 42, verifica-se que, na generalidade, o arroz comercial e as variedades Indica 9-15, Indica 9-16 e Indica 10-16 têm uma razão amilose / amido total relativamente elevada quando comparado às demais variedades. Por sua vez, as variedades Indica 17-16 e Indica 18-16 apresentam as menores razões amilose / amido total.

#### 6.4.2.1 Em imersão em água

Na Figura 43 encontram-se representados os valores de amilose quando submetidos a imersão em água, a temperatura ambiente, durante 1 hora comparados ao valor da amilose das respectivas variedades sem imersão. As setas presentes na figura têm como objetivo a diferenciação das variedades.



**Figura 43** Conteúdo em amilose (% em matéria seca) do arroz com e sem imersão em água durante 1 hora.

Verifica-se que, na maioria dos casos, o valor da amilose diminui em relação ao arroz que não sofreu a imersão prévia.

Relativamente aos dados das variedades imersas em água durante 1 hora, a variedade com menor quantidade amilose (em matéria seca) é a Indica 17-16 ( $7.9 \pm 0.1\%$ ) e a variedade com maior quantidade é a Comercial-R13 ( $23.3 \pm 1.6\%$ ). As variedades com menor quantidade de amilose são as Indica 17-16 e Indica 18-16, ao contrário das variedades Indica 1-14, Indica 1-16, Indica 11-1, Indica 11-2 e Indica 12-2 que apresentam a maior quantidade de amilose após a imersão.

As variedades na qual a imersão teve mais impacto são a Indica 1-14, a Comercial-M16 e a Comercial-R12, tendo sido significativa a diminuição da sua composição em amilose. As variedades Indica 6-16P, Indica 15-16, Comercial-M11 e Japónica 1-16P não sofrem uma alteração significativa quando são submetidas à imersão a temperatura ambiente, quando comparado aos valores ditos “normais” do teor em amilose.

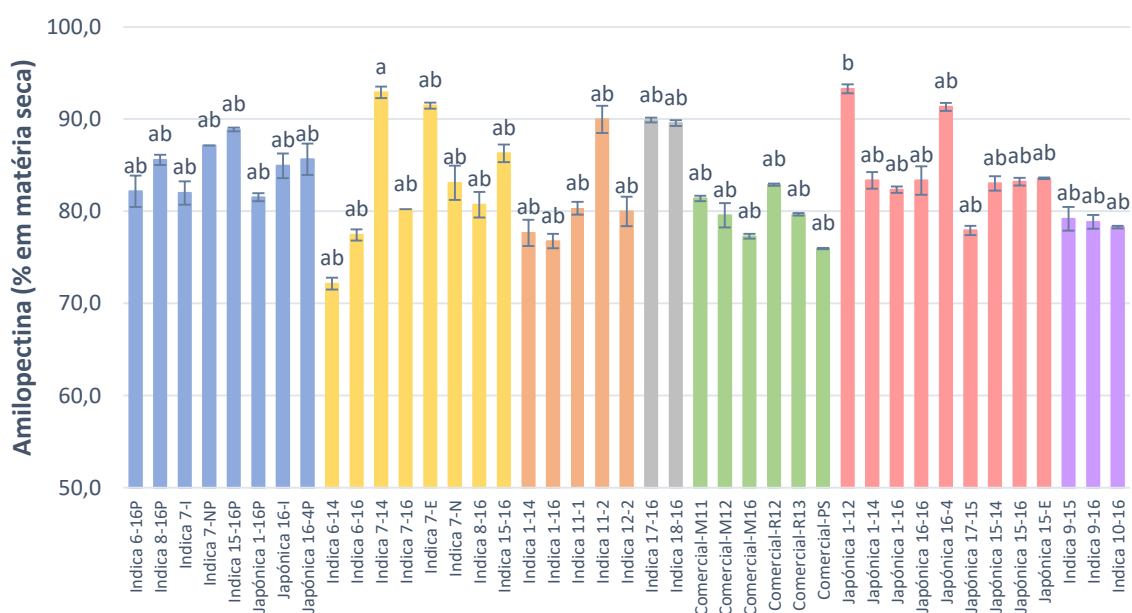
Ao deixar o arroz durante 1 hora em água a temperatura ambiente, seria esperado uma redução da quantidade de amilose presente no grão, uma vez que as cadeias de amilose saíam do grão e iriam se dispersar na água de imersão. Experimentalmente, em algumas variedades tal não se verifica, talvez devido à dimensão das cadeias lineares e ramificadas do amido que impossibilita a sua extração ou a água de imersão poderá ter tido o efeito adverso ao arrastar os componentes para junto do endosperma, dificultado a sua quantificação e extração.



### 6.4.3 Conteúdo em amilopectina

A amilopectina, outro constituinte do amido, assume um papel preponderante nas características dos grãos de arroz.

Na Figura 44 estão evidenciados os valores da amilopectina (% em matéria seca) e respectiva análise estatística das variedades estudadas.



**Figura 44** Conteúdo de amilopectina (% em matéria seca) e respectiva determinação de *Tuckey* HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

Segundo os dados da Figura 44, verifica-se que a amilopectina varia entre  $74.1 \pm 0.6\%$  (Indica 6-14) e  $93.3 \pm 0.5\%$  (Japônica 1-12).

Estatisticamente, as variedades são muito semelhantes entre si, salvo a variedade Indica 7-14 que é diferente da variedade Japônica 1-12.

As variedades Comerciais têm menores valores de amilopectina, ao contrário das variedades Indica 17-16 e Indica 18-16 que apresentam um maior conteúdo em amilopectina.

Segundo Cai *et al.* (2015) [223], durante a cozedura do arroz, a capacidade de absorção de água e consequente aumento do tamanho encontra-se inerentemente associada à amilopectina. Como já mencionado, a absorção de água e gelatinização do amido relacionam-se com as características reológicas do amido. O Pico da viscosidade relaciona-se positivamente com a amilopectina ( $r = 0.43$ ,  $p < 0.05$ ). O *Breakdown*, por sua vez, relaciona-se positivamente com a quantidade de amilopectina,  $r = 0.39$  ( $p < 0.05$ ). A Viscosidade final é proporcional à porção de amilopectina ( $r = 0.46$ ,  $p < 0.05$ ). Assim

sendo, verifica-se que os parâmetros Pico da viscosidade, *Breakdown*, Viscosidade final relacionam-se positivamente com a quantidade de amilopectina no grão e, de facto, as viscosidades elevadas destes parâmetros são característicos de variedades da subespécie *Japónica*.

Na Tabela 5 encontra-se representado a razão amilose/ amilopectina das subespécies *Indica*, *Japónica* e variedades comerciais quando imersas e sem sofrerem este procedimento prévio.

**Tabela 5** Razão amilose/ amilopectina das variedades com e sem imersão.

	<b>Razão amilose/ amilopectina (sem imersão)</b>	<b>Razão amilose/ amilopectina (imersão 1 hora)</b>
<i>Indica</i>	0.32 ± 0.02	0.17 ± 0.03
Comercial	0.30 ± 0.02	0.23 ± 0.02
<i>Japónica</i>	0.23 ± 0.02	0.18 ± 0.01

Segundo a literatura, a razão amilose/ amilopectina deve ser próxima de 0.25 [224].

Relativamente aos dados sem imersão, verifica-se que a razão amilose/ amilopectina é superior nas variedades *Indica* e comerciais e menor nas variedades da subespécie *Japónica*, sendo estes resultados expectáveis uma vez que as variedades da subespécie *Indica* e as comerciais têm uma maior quantidade de amilose.

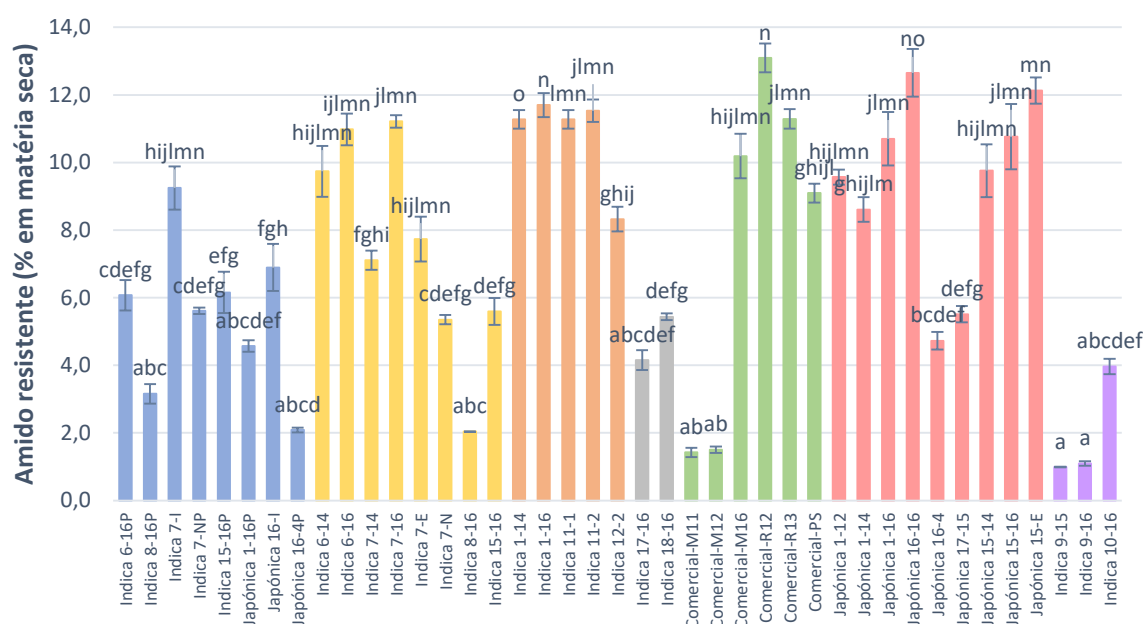
Segundo Van Amelsvoort e Weststrate (1992) [224], grãos com razões amilose/ amilopectina elevadas, ou seja, grãos com maiores quantidades de amilose, provocam, inicialmente, uma menor resposta de insulina e, após a ingestão dos alimentos, uma maior ideia de saciedade. Por esta razão, a razão amilose/ amilopectina deve ser encarada como um dos parâmetros importantes durante a formulação de produtos para diabéticos. Como as variedades de arroz *Indica* têm maiores quantidades de amilose, a ingestão destas é mais vantajosa para a saúde do que a ingestão de variedades de arroz *Japónica*.

Quando os grãos são imersos em água, verifica-se uma diminuição da razão amilose / amilopectina devido à dispersão destes constituintes na água. Após a imersão, os grãos comerciais continuam a ter uma relação amilose/amilopectina relativamente alta.

#### 6.4.4 Conteúdo em amido resistente

O amido que não é digerido no intestino delgado denomina-se amido resistente [225]. Segundo Weickert e Mohlig (2005) [69], a ingestão de amido resistente diminui a secreção de insulina e controla o nível de glucose no sangue, sendo por isso um constituinte do arroz de grande valor.

Na Figura 45 encontram-se representados os valores de amido resistente das variedades estudadas.



**Figura 45** Conteúdo de amido resistente (% em matéria seca) por grão de arroz e respetiva determinação de *Tuckey* HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

Segundo a Figura 45, verifica-se que o amido resistente (em matéria seca) varia entre  $1.0 \pm 0.0\%$  e  $13.1 \pm 0.4\%$ . As variedades de arroz com menor quantidade de amido resistente são a Indica 9-15 ( $1.0 \pm 0.0\%$ ), Indica 9-16 ( $1.1 \pm 0.1\%$ ) e Comercial-M11 ( $1.4 \pm 1.1\%$ ), sendo estas estatisticamente semelhantes. Por outro lado, as variedades com maior quantidade de amido resistente são a Comercial-R12 ( $13.1 \pm 0.4\%$ ), Japónica 16-16 ( $12.7 \pm 0.7\%$ ) e Japónica 15-E ( $12.1 \pm 0.4\%$ ). A variação da quantidade de amido resistente encontra-se de acordo com o obtido por Srikaeo e Sangkhian (2014) [226].

Utilizando os dados da Tabela 4, pode-se estabelecer uma relação de proporcionalidade positiva entre a amilose e o amido resistente, como evidenciado na Tabela 6.

**Tabela 6** Quantidade de amido resistente (% em matéria seca) segundo a classificação em amilose.

	Amido resistente (em matéria seca)
<i>Quantidade extremamente baixa de amilose</i>	6.1 ± 1.9%
<i>Quantidade baixa de amilose</i>	8.0 ± 3.5%
<i>Quantidade intermédia de amilose</i>	7.4± 4.4%
<i>Quantidade elevada de amilose</i>	9.7 ± 0.0%

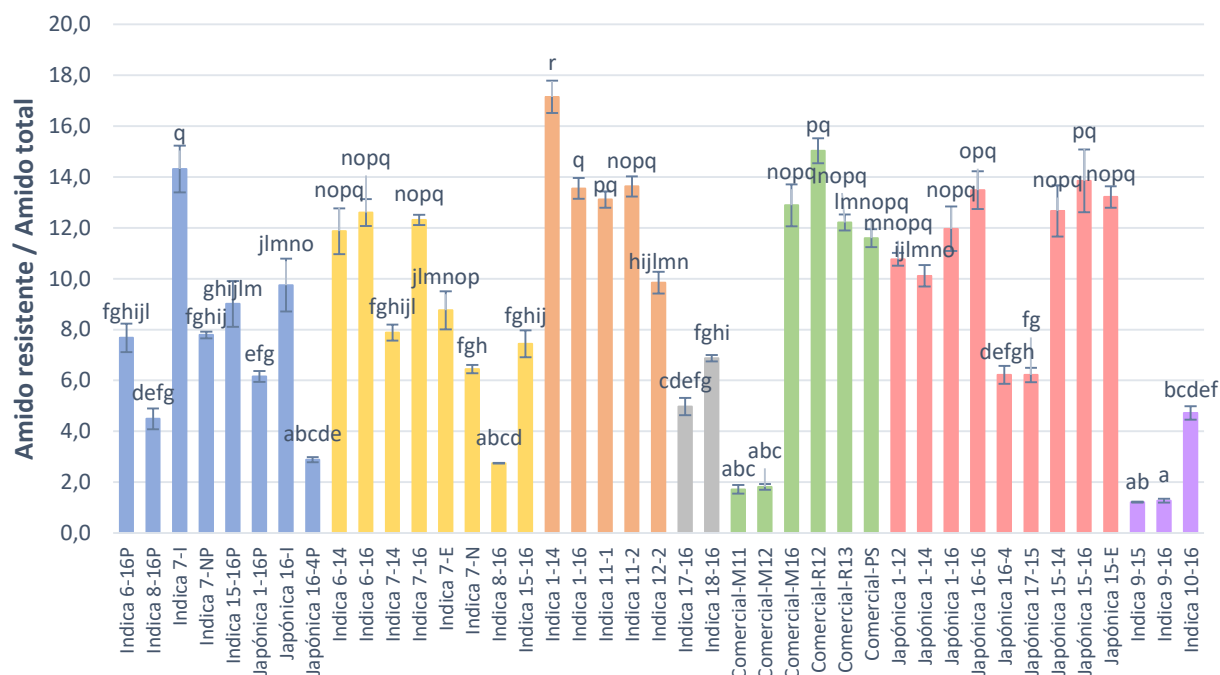
Tendo como base a Tabela 6, verifica-se que quanto maior a quantidade de amilose no grão, maior é a quantidade de amido resistente. De facto, o amido resistente é obtido através das interações entre a amilose presente no complexo lípidos-amilose e as cadeias externas da amilopectina [227].

As variedades Indica 9-15, Indica 9-16 e Comercial-M12 são estatisticamente muito semelhantes, sendo também as variedades com menores valores de amido resistente. Segundo Dutta e Mahanta (2014) [228], quando o arroz sofre um tratamento térmico, a sua digestibilidade aumenta, diminuindo assim a quantidade de amido resistente. Seria espectável que a variedade Comercial-M16 tivesse menor quantidade de amido resistente, uma vez que sofreu o mesmo tipo de tratamento que as demais comerciais.

Estatisticamente, existem variedades na Novarroz idênticas às variedades comerciais em termos de amido resistente.

Comparando as variedades em película com as respetivas branqueadas, verifica-se que as variedades Indica 6-16P, Japónica 1-16P e Japónica 16-4P têm uma menor quantidade de amido resistente. Por outro lado, as variedades Indica 7-NP, Indica 8-16P e Indica 15-16P têm maiores porções de amido resistente do que as respetivas branqueadas.

Na Figura 46 encontram-se os resultados da razão amido resistente/ amido total e respetiva análise estatística.



**Figura 46** Conteúdo de amido resistente por conteúdo de amido total por grão de arroz e respetiva determinação de *Tuckey HSD* e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

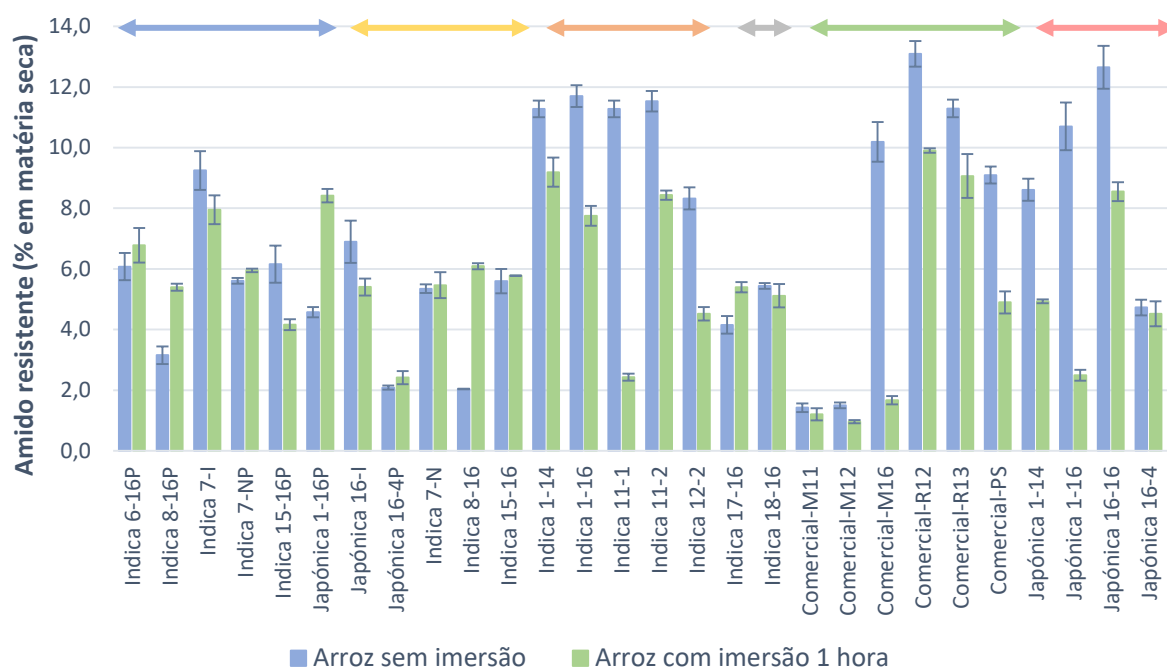
Segundo os dados da Figura 46, verifica-se que a razão amido resistente/ amido total pode tomar valores entre  $1.2 \pm 0.0$  (Indica 9-15) e  $17.4 \pm 0.6$  (Indica 1-14).

As variedades Indica 9-15 e Indica 9-16 são estatisticamente semelhantes às variedades comercializadas como tendo baixo IG, nomeadamente Comercial-M11, Comercial-M12. Destaca-se o facto de todas estas variedades terem sofrido um tratamento térmico prévio.

Ao comparar a Figura 45 com a Figura 46, não se destacam diferenças significativas em termos de proporção de amido resistente.

#### 6.4.4.1 Em imersão em água

Na Figura 47 encontram-se os valores obtidos do amido resistente (% em matéria seca) e quando imersos em água, a temperatura ambiente, durante 1 hora. As setas presentes na figura têm como objetivo a diferenciação das variedades.



**Figura 47** Conteúdo de amido resistente (% em matéria seca) por grão de arroz sem imersão e com imersão em água durante 1 hora.

Tendo como referência a Figura 47, verifica-se que o amido resistente varia entre  $1.0 \pm 0.1\%$  (Comercial-M12) e  $9.9 \pm 0.1\%$  (Comercial-R12).

Verifica-se que na maior parte das variedades, a composição em amido resistente diminui depois da imersão em água durante 1 hora.

Após a imersão, as variedades com maior conteúdo em amido resistente são as variedades em película.

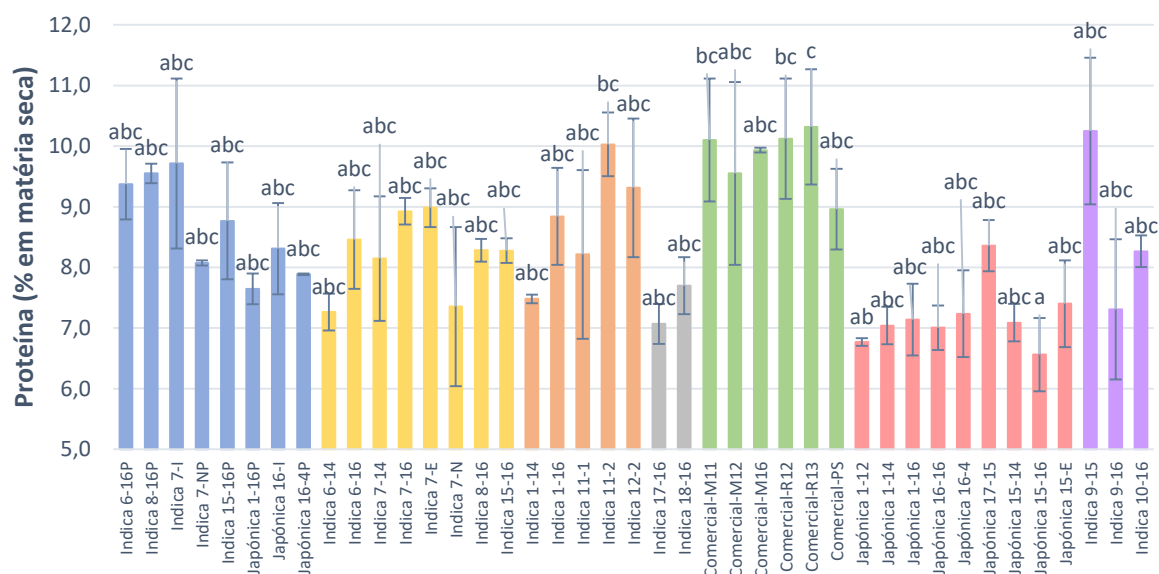
A imersão em água durante uma hora teve maior impacto nas variedades Indica 11-1, Comercial-M16 e Japónica 1-16, no qual se verificou uma redução do valor de amido resistente.

Todavia, a imersão em água não provocou diferenças significativas nas variedades Indica 7-N e Indica 15-16.

## 6.5 Conteúdo em proteína

A proteína, o segundo composto mais abundante no arroz, assume um papel importante na diferenciação das características do grão de arroz. A caracterização deste parâmetro é essencial para um melhor conhecimento das propriedades do arroz e, por consequente, o ajuste às necessidades dos consumidores.

Na Figura 48 encontram-se representados os valores do conteúdo proteico presentes no grão de arroz.



**Figura 48** Conteúdo de proteína (% em matéria seca) por grão de arroz e respetiva determinação de *Tuckey* HSD e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

Segundo os dados da Figura 48, verifica-se que o conteúdo proteico das amostras estudadas varia entre  $6.6 \pm 0.3\%$  (Japónica 15-16) e  $10.3 \pm 1.0\%$  (Comercial-R13). Os valores do conteúdo proteico encontram-se semelhantes ao mencionado na bibliografia [157,229]

Confirma-se também que as variedades em película possuem um maior conteúdo proteico do que as respetivas variedades branqueadas. As variedades de arroz branqueado têm um menor conteúdo proteico uma vez que o processo de branqueamento remove as camadas exteriores do grão, onde a proteína se encontra maioritariamente [77,79].

As variedades Comerciais apresentam o maior conteúdo proteico e, por outro lado, as variedades da subespécie *Japónica* apresentam o menor conteúdo em proteína.

Verifica-se que as amostras de arroz *Indica* têm uma concentração de proteína superior às amostras consideradas *Japónica*, como demonstrado pela relação proporcional da proteína em função da amilose,  $r = 0.29$  ( $p < 0.05$ ).

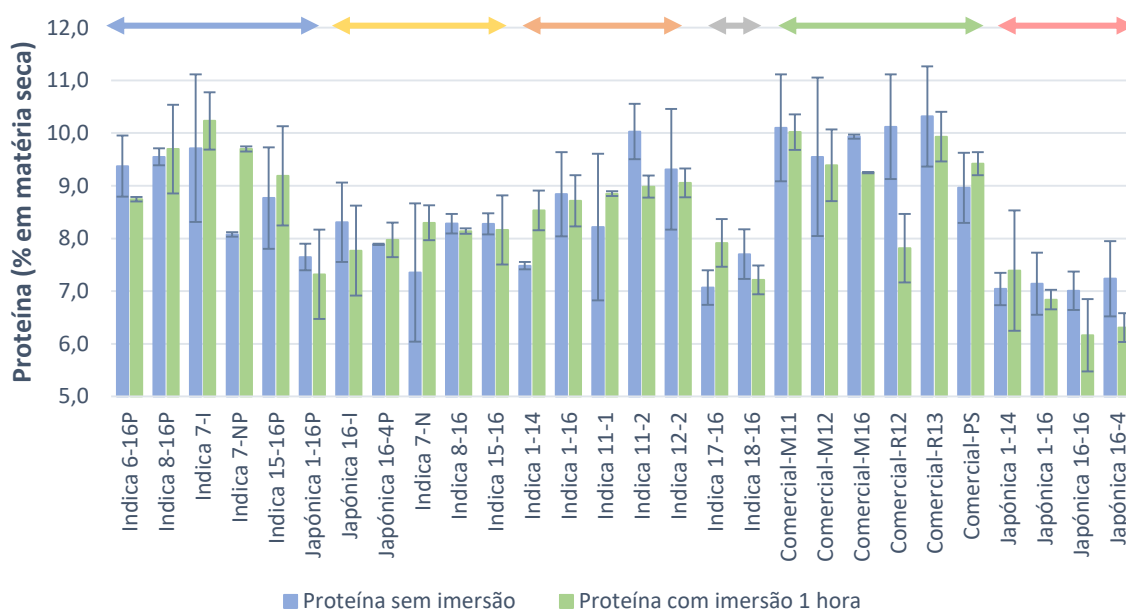
As variedades Comercial-M11, Comercial-R12, Japónica 15-16, Comercial-R13 e Japónica 15-E diferenciam-se das demais.

Como o grão de arroz tem uma quantidade de proteína relativamente elevada, as características reológicas do grão são influenciadas. O conteúdo proteico relaciona-se inversamente com o Pico da viscosidade,  $r = -0.73$  ( $p < 0.05$ ) e também com a Viscosidade

final,  $r = -0.65$  ( $p < 0.05$ ) (ver 6.2 Propriedades reológicas do arroz). As ligações das proteínas são mais resistentes e, por isso, menos suscetíveis à absorção de água e rutura dos grânulos de amido [196], existindo por isso a relação inversa entre o conteúdo proteico e as viscosidades dos grãos de arroz (o Pico da viscosidade e Viscosidade final são superiores nas variedades *Japónica*).

#### 6.5.1.1 Em imersão em água

Na Figura 49 encontra-se representada a diferença no conteúdo proteico aquando a imersão em água, a temperatura ambiente, durante 1 hora. As setas presentes na figura têm como objetivo a diferenciação das variedades.



**Figura 49** Conteúdo em proteína (% em matéria seca) do arroz com e sem imersão em água durante 1 hora.

Relativamente aos dados do arroz imersos em água, a proteína varia entre  $6.2 \pm 0.7\%$  (Japónica 16-16) e  $10.2 \pm 0.5\%$  (Indica 7-I).

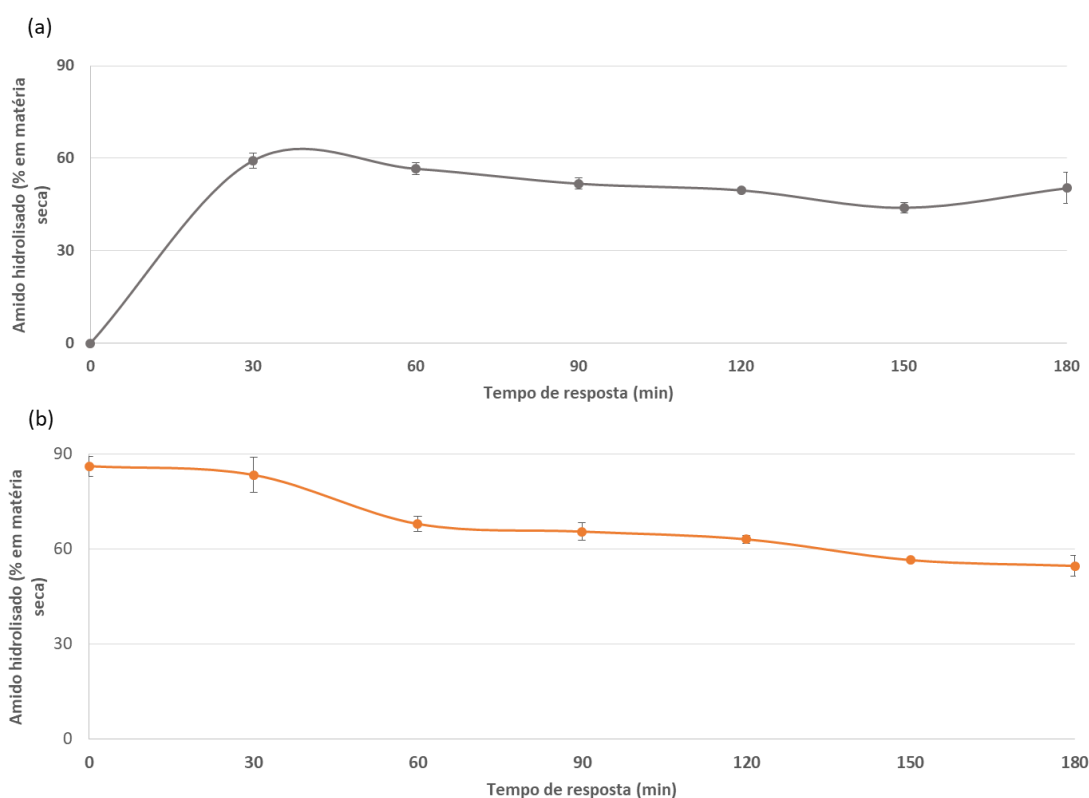
Segundo os dados da Figura 49, verifica-se que a imersão em água durante 1 hora extrai parte do conteúdo proteico dos grãos de arroz na maioria das variedades. Segundo Otegbayo et al. (2001) [230], quando os grãos são imersos, as proteínas saem do grão ou, em alguns casos, penetram no amido presente no endosperma o que dificulta a sua extração e, por isso, a sua quantificação é mais reduzida.



## 6.6 Índice Glicémico

O consumo de arroz branco é associado ao aumento do risco da incidência da diabetes [231], sendo por isso, recomendável a ingestão de pouca ou nenhuma quantidade de arroz às pessoas que sofram desta patologia. Tendo em conta este facto, a Novarroz pretende alargar a sua gama de produtos e incluir arroz mais saudável, como é o caso de arroz com baixo Índice Glicémico.

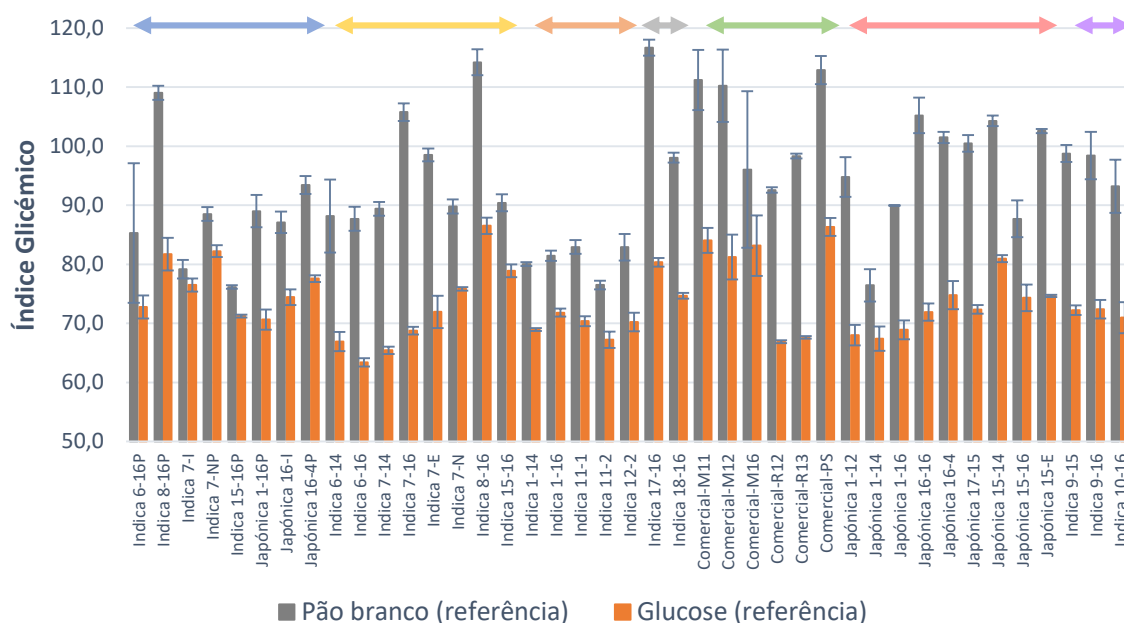
Segundo Goñi *et al.* (1997) [156], no cálculo do IG, utiliza-se pão branco como referência. Inicialmente, utilizou-se esta referência, contudo, a mesma apresentava um elevado grau de aleatoriedade entre as várias amostras de pão utilizadas. De forma a contornar esta questão, passou-se a utilizar a Glucose como referência no cálculo do IG. Na Figura 50 encontram-se evidenciadas as curvas de hidrólise do amido do pão branco e da glucose.



**Figura 50** Curva da hidrólise do amido (% em matéria seca) das referências pão branco (a) e da glucose (b).

A representação evidenciada na Figura 50 mostra claramente a diferença entre ambas as curvas. O pão branco atinge o máximo de amido hidrolisado entre os primeiros 30 a 60 minutos, permanecendo a sua hidrólise do amido na ordem dos 60%. A curva da glucose inicia-se junto a 100%, diminuindo desde então ao longo da mesma.

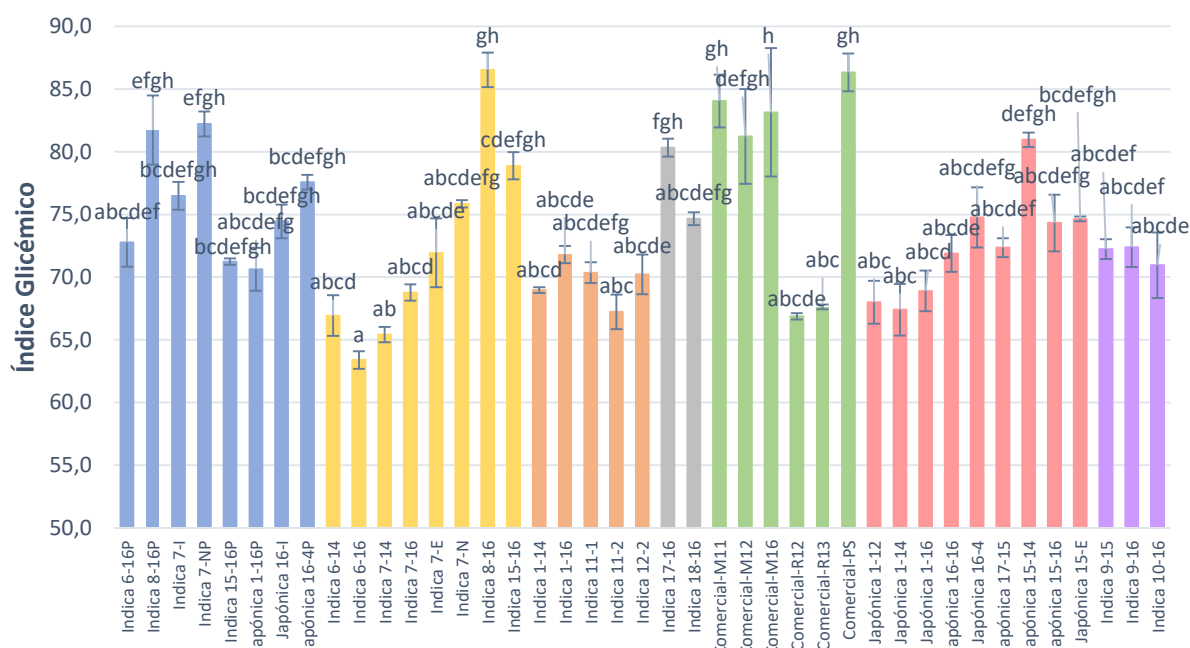
Na Figura 51 encontram-se representados os vários valores do IG tendo como referência o pão branco e a glucose. As setas presentes na figura têm como objetivo a diferenciação das variedades.



**Figura 51** Índice Glicémico das amostras estudadas tendo como referência o pão branco e a glucose.

O IG das amostras revela-se superior quando se utiliza o pão branco como referência, sendo o IG menor quando se utiliza a glucose. Quando se utiliza o pão branco como referência, considera-se o IG do mesmo como 100%, existindo, obviamente, produtos com IG superior ao IG do pão. Se IG da glucose for considerado a referência, ou seja, IG=100%, não pode existir produtos com IG superior a este. Como tal, pensou-se que seria mais correto usar a glucose como referência.

Na Figura 52 encontram-se representados os valores do Índice Glicémico das variedades estudadas, tendo como referência a Glucose.



**Figura 52** Valores do Índice Glicémico das amostras estudadas e respetiva determinação de *Tuckey HSD* e ANOVA ( $P < 0.05$ ).

Com base na Figura 52, verifica-se que o IG das variedades estudadas varia entre  $63.4 \pm 0.7$  (Indica 6-16) e  $86.5 \pm 1.4$  (Indica 8-16).

Experimentalmente, o IG das variedades integrais é superior, na maioria dos casos, ao IG das respetivas variedades branqueadas. Como referido no capítulo 3 Índice Glicémico, o IG das variedades integrais deveria ser menor do que nas respetivas variedades branqueadas, devido à presença de outros compostos como fibras e compostos fenólicos. Neste caso, a hidrólise do amido é efetuada *in vitro*, não tendo em conta a resposta fisiológica *in vivo* aos outros constituintes presentes no grão de arroz.

Segundo os dados da Figura 52, verifica-se que as variedades semelhantes Indica 1-14, Indica 1-16, Indica 11-1, Indica 11-2 e Indica 12-2 têm valores baixos de IG.

As variedades comercializadas como tendo baixo IG, efetivamente, são ricas em conteúdo proteico (ver Figura 48). Quando se ingere um alimento com glucose e proteínas, o pico da concentração de insulina é mais lento, sendo benéfico para os diabéticos [127]. Contudo, o IG destas varia entre  $66.9 \pm 0.2$  (Comercial-R12) e  $86.3 \pm 1.5$  (Comercial-PS), não tendo o baixo IG. De facto, existem outras metodologias e otimizações distintas de determinação de IG para além do utilizado experimentalmente e outros fatores de indução de variabilidade como a referência utilizada.

Das 41 variedades de arroz estudadas, 11 variedades são consideradas como IG moderado, nomeadamente as variedades Indica 6-14, Indica 6-16, Indica 7-14, Indica 7-

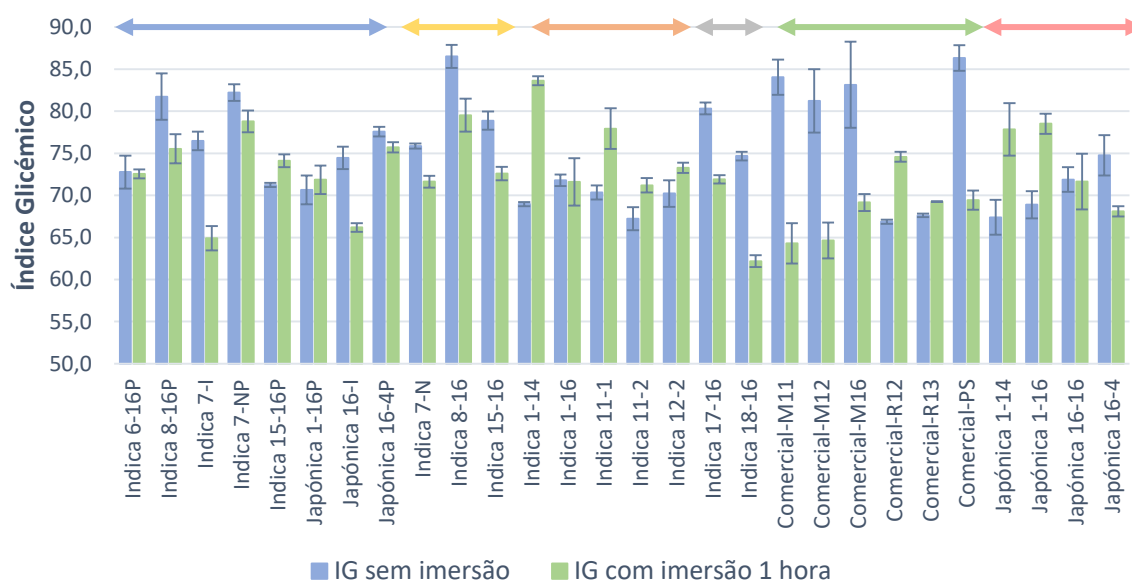
16, Indica 1-14, Indica 11-2, Comercial-R12, Comercial-R13, Japônica 1-12, Japônica 1-14 e Japônica 1-16 e as demais, como têm um IG superior a 70 unidades de glucose, são consideradas como alto IG.

As variedades Indica 6-14 e Indica 6-16 destacam-se pelos seus reduzidos valores de IG e, se tiver em conta os valores de amilose e amido resistente destas variedades (ver Figura 41 e Figura 45), verifica-se que estas variedades têm valores altos de amilose e amido resistente, dificultando assim a hidrólise do amido existente no grão.

Apesar destes estudos se realizarem *in vitro*, são simuladas e mantidas todas as condições que se verificam no corpo humano ao longo do sistema digestivo. Segundo Fitzgerald *et al.* (2011) [232], o IG obtido *in vitro* e *in vivo* relaciona-se positivamente, tendo um  $r = 0.92$  ( $p < 0.05$ ) entre eles. Assim, pode-se considerar que os valores obtidos *in vitro* podem ser indicativos do que seria a resposta *in vivo*.

#### 6.6.1.1 Em imersão em água

Na Figura 53 encontram-se representadas os valores do IG das variedades com e sem imersão. As setas presentes na figura têm como objetivo a diferenciação das variedades.



**Figura 53** Valores do Índice Glicémico do arroz com e sem imersão em água durante 1 hora.

Tendo como base a Figura 53, verifica-se que na maioria das variedades, o IG diminui quando as variedades são imersas em água.

O IG das variedades quando imersas em água a temperatura ambiente durante 1 hora toma valores entre  $62.2 \pm 0.7$  (Indica 18-16) e  $83.6 \pm 0.5$  (Indica 1-14).

Apesar de, na maioria das variedades, o valor do IG baixar após a imersão as variedades Indica 15-16P, Japónica 1-16P, Indica 1-14, Indica 11-1, Indica 11-2, Indica 12-2, Comercial-R12, Comercial-R13, Japónica 1-14 e Japónica 1-16 destacam-se pelo valor do IG aumentar. Denota-se um comportamento idêntico entre as variedades da mesma espécie, como é o caso das variedades Japónica 1-16P, Japónica 1-14 e Japónica 1-16, ao aumentar o valor de IG quando as mesmas são imersas em água a temperatura ambiente. O aumento do IG poderá ter como origem a diferente conformação das células nas variedades em contraste com a disposição radial das restantes variedades [233].

Segundo as instruções de preparação presentes no rótulo do arroz comercial, é aconselhável a imersão do arroz prévia em água e, de facto, a imersão em água diminui o valor do IG das variedades. No entanto, o valor do IG obtido experimentalmente não é o valor evidenciado na informação nutricional destas variedades. Esta diferença de valores pode-se dever à utilização de diferentes métodos de determinação do IG.

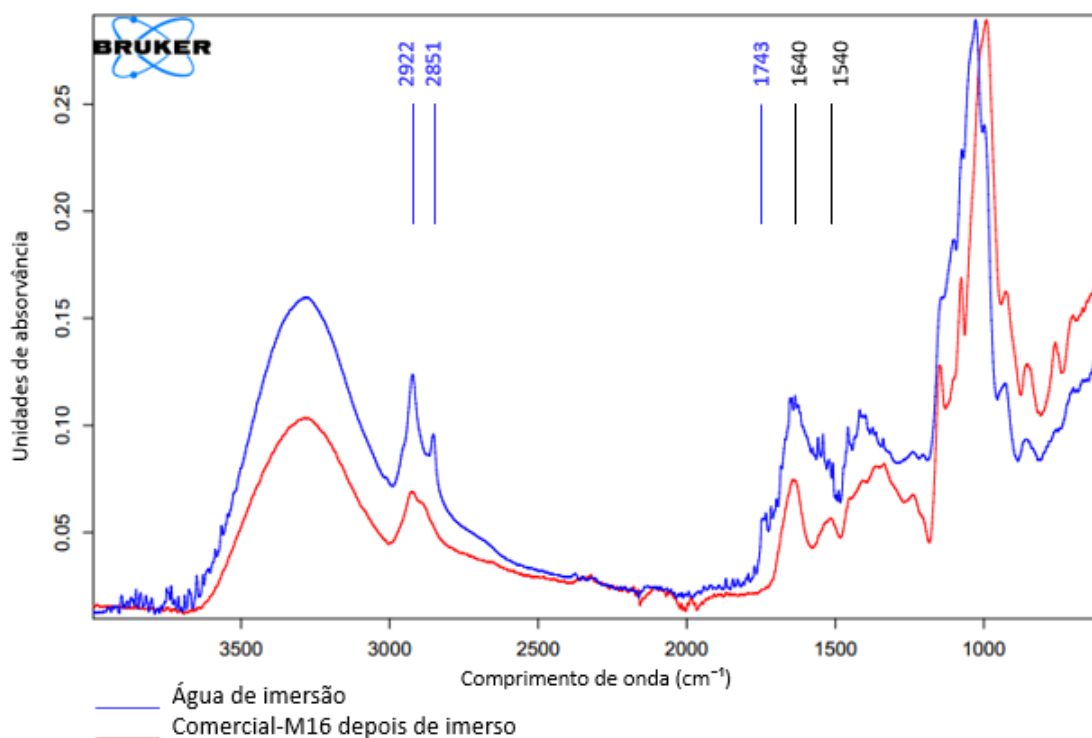
As variedades Comercial-M11, Comercial-M12 e Comercial-PS foram as variedades que se destacaram por uma maior redução do valor do IG aquando a imersão em água durante 1 hora a temperatura ambiente. Por outro lado, as variedades Indica 6-16P, Indica 1-16 e Japónica 16-16 sofreram alterações insignificantes no valor do IG.

Foram submetidas 28 variedades à imersão em água, sendo que 9 variedades tiveram valores intermédio de IG, nomeadamente, as variedades Indica 7-I, Japónica 16-I, Indica 18-16, Comercial-M11, Comercial-M12, Comercial-M16, Comercial-R13, Comercial-PS e Japónica 16-4. As restantes 19 variedades são consideradas como alto IG.

No final dos ensaios de imersão, a variedade Indica 18-16 destaca-se das restantes por ter um IG mais baixo ( $IG = 62.2 \pm 0.7$ ).

## 6.7 Água de imersão

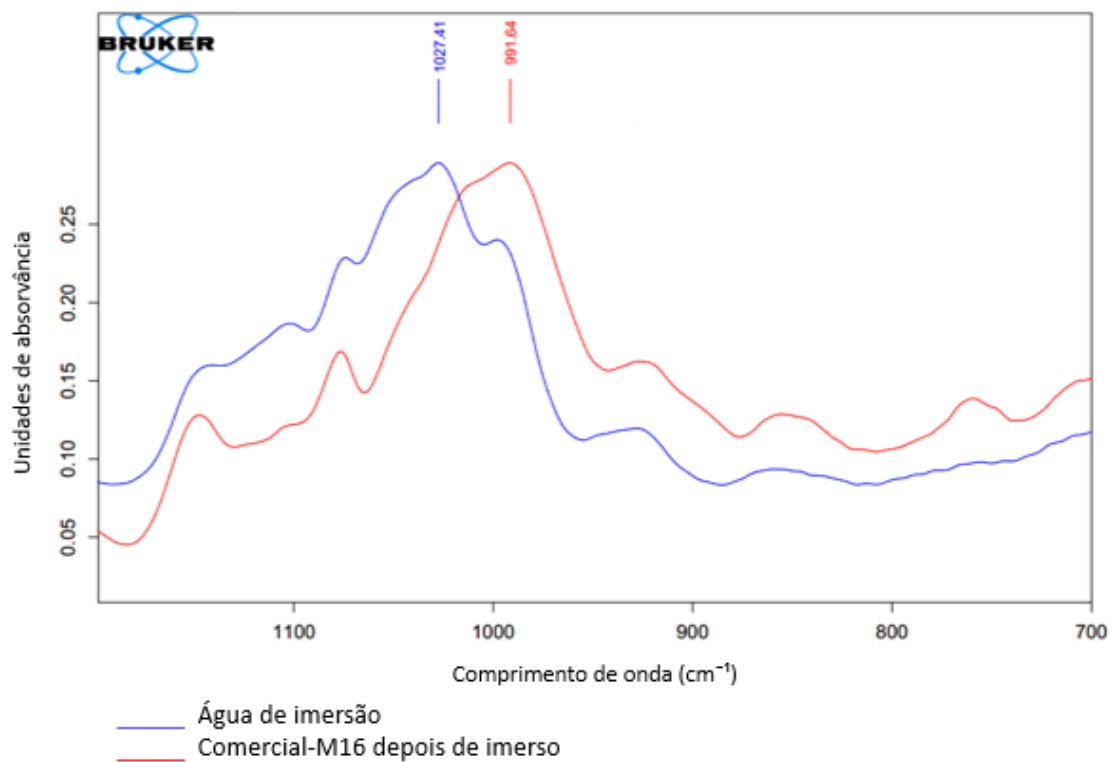
A água na qual foram imersos os grãos de arroz foi analisada através de infravermelho, como evidenciado na Figura 54.



**Figura 54** Espectro de infravermelho da variedade Comercial-M16 depois de imersa e respetiva água de imersão.

Na água de imersão verifica-se essencialmente a presença de amido (picos à volta de  $1000\text{ cm}^{-1}$ ), proteína (bandas Amida I e II a  $1640$  e  $1540\text{ cm}^{-1}$ , respetivamente) e gordura ( $2922$  e  $2851\text{ cm}^{-1}$  correspondentes às ligações C-H dos grupos metilénicos e a banda do éster a  $1743\text{ cm}^{-1}$ ), corroborando o conceito da imersão remover proteínas solúveis, hidratos de carbono e lípidos mencionado por Chen *et al.* (1999) [234].

A comparação dos espectros do arroz após imersão e da água de imersão correspondente mostra uma modificação dos picos do amido. O pico a  $1027\text{ cm}^{-1}$  corresponde à amilose e o de  $991.64\text{ cm}^{-1}$  à amilopectina. É possível verificar na Figura 55 que no caso da água de imersão há uma preponderância do pico a  $1027\text{ cm}^{-1}$ , correspondente à amilose, indicando que alguma amilose sai na água de imersão, enquanto no arroz a banda corresponde ao sinal da amilopectina, que é o componente maioritário do amido no grão de arroz.



**Figura 55** Espectro de infravermelho e respectivas diferenças entre a água de imersão e o arroz depois de imerso.

O comportamento verificado pela análise de infravermelho está de acordo com os dados das análises químicas, que mostravam uma diminuição da amilose e da proteína no grão.

## 7. CONCLUSÕES

---

Ambos os objetivos do presente trabalho foram atingidos. As várias variedades foram caracterizadas física e quimicamente e foram identificadas algumas variedades com baixo IG.

Fisicamente, as variedades *Indica* apresentam maiores valores da razão comprimento/largura do que as variedades *Japónica*. As variedades da subespécie *Japónica* apresentam maior brancura, *kett* e área gessada do que as variedades da subespécie *Indica*. O valor do *kett* relaciona-se positivamente com a área gessada ( $r = 0.76$ ,  $p < 0.05$ ) e com a brancura total ( $r = 0.87$ ,  $p < 0.05$ ).

Através dos ensaios do RVA pode-se simular os efeitos da cozedura e arrefecimento nos grânulos de amido. Conclui-se que as variedades da subespécie *Indica* têm menores valores do Pico da viscosidade (menor capacidade de absorção de água), *Breakdown* (maior resistência ao calor ao longo da cozedura) e Viscosidade final (viscosidade menor). Verifica-se também que as variedades da subespécie *Indica* têm maiores valores de Retrogradação que as variedades da subespécie *Japónica*, por isso mesmo, os grânulos gelatinizados de amido da subespécie *Indica* reorganizam-se mais rapidamente quando comparados aos da subespécie *Japónica*.

Os valores do amido total variam entre  $66.6 \pm 0.2\%$  e  $93.8 \pm 2.6\%$  (em matéria seca), tendo valores superiores nas variedades branqueadas. Quando o arroz é submetido à imersão, a temperatura ambiente durante 1 hora, os valores do amido total diminuem na maioria das variedades.

A amilose verifica-se em maiores porções na subespécie *Indica*, corroborando o mencionado na literatura. Este parâmetro influencia o comportamento do arroz, nomeadamente, as características reológicas do mesmo, relacionando-se negativamente com o Pico da viscosidade e *Breakdown*,  $r = -0.45$  e  $r = -0.41$  ( $p < 0.05$ ). Conclui-se também que a razão amilose/amilopectina é superior nas variedades da subespécie *Indica* e variedades comerciais.

Verifica-se que o amido resistente presente no grão é proporcional à quantidade de amilose. Nota-se também que as variedades submetidas a tratamentos térmicos são mais digeríveis, tendo uma menor quantidade de amido resistente. Quando o arroz é imerso, o amido resistente na maioria das variedades diminui, ao contrário do verificado nas variedades em película no qual se verificou que o amido resistente aumenta.



O conteúdo proteico revela-se superior nas variedades da subespécie *Indica* e variedades comerciais e, quando os grãos são imersos em água, a temperatura ambiente, o conteúdo proteico das várias variedades diminui. Os compostos presentes no grão dispersam-se na água de imersão. O conteúdo proteico dos grãos também influencia o comportamento do arroz durante a cozedura, relacionando-se negativamente com o Pico da viscosidade e Viscosidade final,  $r = -0.73$  e  $r = -0.65$  ( $p < 0.05$ ), respetivamente.

O IG das variedades varia entre  $63.4 \pm 0.7$  e  $86.5 \pm 1.4$ . A variedade com menor IG é a Indica 6-16. Quando o arroz é imerso, o IG diminui na maioria dos casos, inclusive nas variedades comercializadas como tendo baixo IG. Depois da imersão em água, o IG da variedade Indica 18-16 é o mais baixo ( $IG = 62.2 \pm 0.7$ ). Ao imergir o arroz em água, o IG das variedades comerciais não diminui até ao valor mencionado no rótulo do arroz comercial declarado como baixo IG.

Apesar de não se ter encontrado alguma variedade de arroz com IG inferior a 55, foram efetuadas otimizações essenciais ao processo de determinação do IG, tendo sido encontradas variedades da Novarroz com valores de IG similares aos valores do IG dos grãos comerciais, nomeadamente a variedade Indica 18-16 ( $IG = 62.2 \pm 0.7$ ) e Japónica 16-I ( $IG = 66.2 \pm 0.5$ ).

O comportamento das variedades aromáticas Indica 17-16 e Indica 18-16 destaca-se muitas vezes do comportamento das outras subespécies *Indica*. Durante a cozedura destas variedades, estas têm valores elevados do Pico da viscosidade, ou seja, absorvem uma maior quantidade de água e, como têm um menor Tempo do pico, necessitam de um menor intervalo de tempo até ocorrer a rotura do grânulo de amido. Estas variedades apresentam maiores valores de *Breakdown* e menores valores de Retrogradação, demonstrando assim uma menor capacidade de resistência às forças de corte e aquecimento e uma menor capacidade do amido gelatinizado se reorganizar novamente, apresentando também maiores valores de Viscosidade final, sendo este comportamento similar às variedades da subespécie *Japónica*. A quantidade de amilose, amido resistente e proteína revela-se inferior nestas variedades do que nas demais subespécies *Indica* e, quando os grãos são imersos, estas apresentam menores valores de humidade e proteína.

Em relação à variedade com maior IG, Indica 8-16 com  $IG = 86.5 \pm 1.4$ , poderia ser utilizada noutro contexto e para outro público-alvo, como o caso dos desportistas. Estes precisam de elevados níveis de hidratos de carbono durante as suas provas e, como este arroz tem um IG alto, fornece um aumento rápido de glucose no sangue essencial para o esforço muscular a que estão sujeitos.

Em trabalhos futuros, sugere-se que sejam caracterizadas menos variedades de arroz de modo a ser possível fazer um estudo exaustivo das várias características dos grãos.

A determinação de outros compostos presentes nos grãos como fenóis e lípidos seria importante para a melhor caracterização e compreensão das variedades.

A caracterização das variedades e otimização dos métodos de quantificação do IG demonstraram ser de grande interesse para a Novarroz, na medida em que só assim se consegue conhecer o produto e adequar os mesmos às necessidades dos clientes para satisfação destes.

## 8. REFERÊNCIAS

---

- [1] T.-T. Chang e E. A. Bardenas, «The morphology and varietal characteristics of the rice plant», *Tech. Bull.* 4, p. 40, 1965.
- [2] K. Doi, H. Yasui, e A. Yoshimura, «Genetic variation in rice», *Curr. Opin. Plant Biol.*, vol. 11, pp. 144–148, 2008.
- [3] D. A. Vaughan, H. Morishima, e K. Kadowaki, «Diversity in the *Oryza* genus», *Current Opinion in Plant Biology*, vol. 6, n. 2. pp. 139–146, 2003.
- [4] D. A. Vaughan, B. R. Lu, e N. Tomooka, «The evolving story of rice evolution», *Plant Science*, vol. 174, n. 4. pp. 394–408, 2008.
- [5] S. Muthayya, J. D. Sugimoto, S. Montgomery, e G. F. Maberly, «An overview of global rice production, supply, trade, and consumption», *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 1324, n. 1, pp. 7–14, Set. 2014.
- [6] A. J. Garriss, T. H. Tai, J. Coburn, S. Kresovich, e S. McCouch, «Genetic structure and diversity in *Oryza sativa* L.», *Genetics*, vol. 169, n. 3, pp. 1631–1638, 2005.
- [7] S. Malik e P. Chaudhary, «Non-conventional tools in the improvement of aromatic rices», em *Specialty rices of the world: breeding, production and marketing*, 2002, pp. 207–222.
- [8] FAO, *FAO rice information (Vol. 2)*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2000.
- [9] P. Yu, X. P. Yuan, Q. Xu, C. H. Wang, H. Y. Yu, Y. P. Wang, S. X. Tang, e X. H. Wei, «Genetic structure and indica/japonica component changes in major inbred rice varieties in China», *Rice Sci.*, vol. 20, n. 1, pp. 39–44, 2013.
- [10] Novarroz, «Marcas e produtos», 2016. [Em linha]. Disponível em: <http://www.novarroz.pt/pt/variedades-de-arroz>. [Acedido: 09-Set-2016].
- [11] P. A. Counce, T. C. Keisling, e A. J. Mitchell, «A uniform, objectives, and adaptive system for expressing rice development», *Crop Sci.*, vol. 40, n. 2, pp. 436–443, 2000.
- [12] B. O. Juliano e D. B. Bechtel, «The rice grain and its gross composition», em *Rice Chemistry and Technology*, 2.<sup>a</sup> ed., St. Paul, MN USA: American Association of Cereal Chemists, 1985, pp. 17–57.
- [13] B. O. Juliano, «Rice starch production, properties, and uses», em *Starch*, 2.<sup>a</sup> ed., R. L. Whistler, J. N. BeMiller, e E. F. Paschall, Eds. Academic Press, Inc., 1984,

pp. 507–528.

- [14] B. O. Juliano, «The rice grain caryopsis and its composition», em *Rice Chemistry and Technology*, D. F. Houston, Ed. American Association of Cereal Chemists, 1972, pp. 16–74.
- [15] A. R. del Rosario, V. P. Briones, A. J. Vidal, e B. O. Juliano, «Composition and endosperm structure of developing and mature rice kernel», *Cereal Chem.*, n. 45, pp. 225–235, 1968.
- [16] D. B. Bechtel e Y. Pomeranz, «Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza sativa*) caryopsis. The starchy endosperm», *Am. J. Bot.*, vol. 65, n. 6, pp. 684–691, Jul. 1978.
- [17] W. R. Coffman e B. O. Juliano, «Nutritional quality of cereal grains: genetic and agronomic improvement», em *Nutritional Quality of Cereal Grains: Genetic and Agronomic Improvement*, A. S. A.-C. S. S. A.-S. S. S. A. A. Monograph., Ed. 1987, pp. 101–131.
- [18] A. O. Oko, B. E. Ubi, A. A. Efisue, e N. Dambaba, «Comparative analysis of the chemical nutrient composition of selected local and newly introduced rice varieties grown in Ebonyi State of Nigeria», *Int. J. Agric. For.*, vol. 2, n. 2, pp. 16–23, 2012.
- [19] S. Barber, «Milled rice and changes during aging», em *Rice Chemistry and Technology*, D. F. Houston, Ed. St Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1972, pp. 215–263.
- [20] B. O. Juliano, *Rice chemistry and quality*. Philippine Research Institute, 2007.
- [21] E. T. Champagne, D. F. Wood, B. O. Juliano, e D. B. Bechtel, «The rice grain and its gross composition», em *RICE: Chemistry and Technology*, 3.<sup>a</sup> ed., St. Paul, Minnesota, U.S.A.: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2004, pp. 77–107.
- [22] US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, e Nutrient Data Laboratory, «USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 27 (slightly revised)», 2015. [Em linha]. Disponível em: <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>. [Acedido: 12-Nov-2016].
- [23] R. Hoover, «Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review», *Carbohydr. Polym.*, vol. 45, n. 3, pp. 253–267, 2001.
- [24] R. F. Tester, J. Karkalas, e X. Qi, «Starch—composition, fine structure and architecture», *J. Cereal Sci.*, vol. 39, n. 2, pp. 151–165, 2004.

- [25] C. Hill, «Starch in food», *Biologist*, vol. 52, n. 3, p. 180, 2005.
- [26] M. Fitzgerald, «STARCH», em *RICE: Chemistry and Technology*, 3.<sup>a</sup> ed., E. T. Champagne, Ed. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2004, pp. 109–141.
- [27] Y. Takeda, S. Hizukuri, e B. O. Juliano, «Purification and structure of amylose from rice starch», *Carbohydr. Res.*, vol. 148, n. 2, pp. 299–308, 1986.
- [28] M. H. Chen e C. J. Bergman, «Method for determining the amylose content, molecular weights, and weight- and molar-based distributions of degree of polymerization of amylose and fine-structure of amylopectin», *Carbohydr. Polym.*, vol. 69, n. 3, pp. 562–578, 2007.
- [29] S. Hizukuri, Y. Takeda, N. Maruta, e B. O. Juliano, «Molecular structures of rice starch», *Carbohydr. Res.*, vol. 189, pp. 227–235, 1989.
- [30] M. Asaoka, K. Okuno, Y. Sugimoto, J. Kawakami, e H. Fuwa, «Effect of environmental temperature during development of rice plants on some properties of endosperm starch», *Starch/Stärke*, vol. 36, n. 6, pp. 189–193, 1984.
- [31] B. O. Juliano, «Rice starch properties and grain quality», *Denpun Kagaku*, vol. 39, n. 1, pp. 11–21, 1992.
- [32] S. H. Yoo e J. L. Jane, «Molecular weights and gyration radii of amylopectins determined by high-performance size-exclusion chromatography equipped with multi-angle laser-light scattering and refractive index detectors», *Carbohydr. Polym.*, vol. 49, n. 3, pp. 307–314, 2002.
- [33] Y. Takeda, S. Shibahara, e I. Hanashiro, «Examination of the structure of amylopectin molecules by fluorescent labeling», *Carbohydr. Res.*, vol. 338, pp. 471–475, 2003.
- [34] A. M. Donald, «Understanding starch structure and functionality», em *Starch in Food: Structure, Function and Applications*, A. C. Eliasson, Ed. United States: CRC Press, Inc, 2004, pp. 156–184.
- [35] T. L. Wang, T. Y. Bogracheva, e C. L. Hedley, «Starch: as simple as A, B, C?», *J. Exp. Bot.*, vol. 49, n. 320, pp. 481–502, Mar. 1998.
- [36] H. F. Zobel, «Molecules to granules: A comprehensive starch review», *Starch/Stärke*, vol. 40, n. 2, pp. 44–50, 1988.
- [37] C. Gérard, V. Planchot, P. Colonna, e E. Bertoft, «Relationship between branching density and crystalline structure of A- and B-type maize mutant starches», *Carbohydr. Res.*, vol. 326, n. 2, pp. 130–144, 2000.

- [38] S. Hizukuri, T. Kaneko, e Y. Takeda, «Measurement of the chain length of amylopectin and its relevance to the origin of crystalline polymorphism of starch granules», *BBA - Gen. Subj.*, vol. 760, n. 1, pp. 188–191, 1983.
- [39] S. Hizukuri, «Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules», *Carbohydr. Res.*, vol. 141, n. 2, pp. 295–306, 1985.
- [40] M. J. Gidley, «Factors affecting the crystalline type (A-C) of native starches and model compounds: a rationalisation of observed effects in terms of polymorphic structures», *Carbohydr. Res.*, vol. 161, n. 2, pp. 301–304, 1987.
- [41] A. A. Baker, M. J. Miles, e W. Helbert, «Internal structure of the starch granule revealed by AFM», *Carbohydr. Res.*, vol. 330, pp. 249–256, 2001.
- [42] R. F. Tester e X. Qi, «Molecular basis of the gelatinisation and swelling characteristics of waxy barley starches grown in the same location during the same season. Part I. Composition and alpha-glucan fine structure», *J. Cereal Sci.*, vol. 39, n. 1, pp. 47–56, 2004.
- [43] M. J. Gidley e S. M. Bociek, «Molecular organization in starches: a carbon 13 CP/MAS NMR study», *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 107, n. 24, pp. 7040–7044, Nov. 1985.
- [44] D. French, «Fine structure of starch and its relationship to the organisation of starch granules», *J. Japanese Soc. Starch Sci.*, vol. 19, n. 1, pp. 8–25, 1972.
- [45] D. J. Gallant, B. Bouchet, e P. M. Baldwin, «Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization», *Carbohydr. Polym.*, vol. 32, n. 3–4, pp. 177–191, 1997.
- [46] K. Alvani, X. Qi, e R. F. Tester, «Gelatinisation properties of native and annealed potato starches», *Starch/Stärke*, vol. 64, n. 4, pp. 297–303, Abr. 2012.
- [47] V. . Kiseleva, R. . Tester, L. . Wasserman, A. . Krivandin, A. . Popov, e V. . Yuryev, «Influence of growth temperature on the structure and thermodynamic parameters of barley starches», *Carbohydr. Polym.*, vol. 51, n. 4, pp. 407–415, 2003.
- [48] V. A. Protserov, «Thermodynamic and structural properties of starches extracted from potatoes grown at different environmental temperatures», *Carbohydr. Polym.*, vol. 49, n. 3, pp. 271–279, 2002.
- [49] L. Copeland, J. Blazek, H. Salman, e M. C. Tang, «Form and functionality of starch», *Food Hydrocoll.*, vol. 23, n. 6, pp. 1527–1534, 2009.
- [50] F. Zhong, Y. Li, A. M. Ibáñez, M. H. Oh, K. S. McKenzie, e C. Shoemaker, «The

- effect of rice variety and starch isolation method on the pasting and rheological properties of rice starch pastes», *Food Hydrocoll.*, vol. 23, n. 2, pp. 406–414, 2009.
- [51] H. S. Ellis e S. G. Ring, «A study of some factors influencing amylose gelation», *Carbohydr. Polym.*, vol. 5, n. 3, pp. 201–213, 1985.
- [52] M. L. Tsai, C. F. Li, e C. Y. Lii, «Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches», *Cereal Chem.*, vol. 74, n. 6, pp. 750–757, Nov. 1997.
- [53] J. Olkku e C. K. Rha, «Gelatinisation of starch and wheat flour starch-A review», *Food Chemistry*, vol. 3, n. 4. Elsevier, pp. 293–317, 1978.
- [54] Y. Li, C. F. Shoemaker, J. Ma, K. J. Moon, e F. Zhong, «Structure-viscosity relationships for starches from different rice varieties during heating», *Food Chem.*, vol. 106, n. 3, pp. 1105–1112, Fev. 2008.
- [55] T. Sasaki e J. Matsuki, «Effect of wheat starch structure on swelling power», *Cereal Chem.*, vol. 75, n. 4, pp. 525–529, Jul. 1998.
- [56] R. F. Tester e W. R. Morrison, «Swelling and gelatinization of cereal starches. Effects of amylopectin, amylase and lipids», *Cereal Chem.*, vol. 67, pp. 551–557, 1990.
- [57] G. Kennedy e B. Burlingame, «Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective», *Food Chem.*, vol. 80, n. 4, pp. 589–596, 2003.
- [58] I. Björck, «Starch: nutritional aspects», em *Carbohydrates in foods*, A. C. Eliasson, Ed. Sweden: University of Lund, 1996, pp. 505–553.
- [59] P. D. Orford, S. G. Ring, V. Carroll, M. J. Miles, e V. J. Morris, «The effect of concentration and botanical source on the gelation and retrogradation of starch», *J. Sci. Food Agric.*, vol. 39, n. 2, pp. 169–177, 1987.
- [60] J. A. Patindol, H. S. Guraya, E. T. Champagne, e A. M. McClung, «Nutritionally important starch fractions of rice cultivars grown in Southern United States», *J. Food Sci.*, vol. 75, n. 5, pp. S33–S50, Out. 2010.
- [61] K. C. Schuster, H. Ehmoser, J. R. Gapes, e B. Lendl, «On-line FT-Raman spectroscopic monitoring of starch gelatinisation and enzyme catalysed starch hydrolysis», *Vib. Spectrosc.*, vol. 22, n. 1, pp. 181–190, 2000.
- [62] A. Kimura e J. F. Robyt, «Reaction of enzymes with starch granules: reaction of isoamylase with native and gelatinised granules», *Carbohydr. Res.*, vol. 287, pp. 255–261, 1996.
- [63] E. Sarikaya, T. Higasa, M. Adachi, e B. Mikami, «Comparison of degradation abilities of  $\alpha$ - and  $\beta$ -amylases on raw starch granules», *Process Biochem.*, vol. 35,

- n. 7, pp. 711–715, 2000.
- [64] Â. C. Macedo, A. Venâncio, e F. X. Malcata, «Biotecnologia dos alimentos», em *Biotecnologia: Fundamentos e Aplicações*, Lisboa: Lidel - Edições Técnicas, Lda, 2003, pp. 431–472.
  - [65] J. C. Brand-Miller, «Glycemic load and chronic disease», *Nutr. Rev.*, vol. 61, n. 5, pp. S49–S55, Mai. 2003.
  - [66] A. P. Nugent, «Health properties of resistant starch», *Nutrition Bulletin*, vol. 30, n. 1. British Nutrition Foundation, pp. 27–54, Mar-2005.
  - [67] Y. Zhou, S. Meng, D. Chen, X. Zhu, e H. Yuan, «Structure characterization and hypoglycemic effects of dual modified resistant starch from indica rice starch», *Carbohydr. Polym.*, vol. 103, n. 1, pp. 81–86, 2014.
  - [68] I. L. Brown, «Applications and uses of resistant starch», *J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int.*, vol. 87, n. 3, pp. 727–732, 2004.
  - [69] M. O. Weickert, M. Mohlig, C. Koebnick, J. J. Holst, P. Namsolleck, M. Ristow, M. Osterhoff, H. Rochlitz, N. Rudovich, J. Spranger, e A. F. H. Pfeiffer, «Impact of cereal fibre on glucose-regulating factors», *Diabetologia*, vol. 48, n. 11, pp. 2343–2353, Nov. 2005.
  - [70] L. Yonekura e H. Suzuki, «Effects of dietary zinc levels, phytic acid and resistant starch on zinc bioavailability in rats», *Eur. J. Nutr.*, vol. 44, n. 6, pp. 384–391, Set. 2005.
  - [71] A. R. Bird, A. Lopez-Rubio, A. K. Shrestha, e M. J. Gidley, «Resistant starch in vitro and in vivo: Factors determining yield, structure, and physiological relevance», em *Modern biopolymer science*, First., S. Kasapis, I. T. Norton, e J. B. Ubbink, Eds. San Diego: Academic Press, 2009, pp. 449–510.
  - [72] J. W. DeVries, «Dietary fiber: The influence of definition on analysis and regulation», *Journal of AOAC International*, vol. 87, n. 3. AOAC International, pp. 682–706, 2004.
  - [73] B. O. Juliano, «Polysaccharides, proteins, and lipids of rice», em *Rice: Chemistry and technology*, American Association of Cereal Chemists, Ed. 1985, pp. 59–174.
  - [74] B. O. Juliano, «Factors affecting nutritional properties of rice protein», *Trans. Nat. Acad. Sci. Tech.*, n. 7, pp. 205–2016, 1985.
  - [75] S. K. De Datta, W. N. Obcemea, e R. K. Jana, «Protein content of rice grain as affected by nitrogen fertilizer and some triazines and substituted ureas», *Agron. J.*, vol. 64, n. 6, pp. 785–788, 1972.



- [76] IRRI, *Annual Report for 1976*. Philippines: Int. Rice Res. Inst., 1977.
- [77] M. Pincioli, A. A. Vidal, M. C. Añón, e E. N. Martínez, «Comparison between protein functional properties of two rice cultivars», *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 42, n. 10, pp. 1605–1610, Dez. 2009.
- [78] B. O. Juliano e C. Villareal, *Grain quality evaluation of world rices*. Philippines: International Rice Research Institute (IRRI), 1993.
- [79] V. Pal, J. P. Pandley, e P. C. Sah, «Effect of degree of polish on proximate composition of milled rice», *J. Food Sci. Technol.*, vol. 36, pp. 160–162, 1999.
- [80] J. Chrastil e Z. M. Zarins, «Influence of storage on peptide subunit composition of rice oryzenin», *J. Agric. Food Chem.*, vol. 40, n. 6, pp. 927–930, Jun. 1992.
- [81] T. Sugimoto, K. Tanaka, e Z. Kasai, «Molecular species in the protein body II (PB-II) of developing rice endosperm», *Agric. Biol. Chem.*, vol. 50, n. 12, pp. 3031–3035, Dez. 1986.
- [82] Z. Y. Ju, N. S. Hettiarachchy, e N. Rath, «Extraction, denaturation and hydrophobic properties of rice flour proteins», *J. Food Sci.*, vol. 66, n. 2, pp. 229–232, Mar. 2001.
- [83] B. O. Juliano, «Rice in human nutrition», *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 26, p. 166, 1993.
- [84] J. Chrastil, «Stickiness of Oryzenin and starch mixtures of preharvest and postharvest rice grains», *J. Agric. Food Chem.*, vol. 42, pp. 2147–2151, 1994.
- [85] M. Tamaki, M. Ebata, T. Tashiro, e M. Ishikawa, «Physico-ecological studies on quality formation of rice kernel. II. Changes in quality of rice kernel during grain development», *Japanese J. Crop Sci.*, vol. 58, pp. 659–663, 1989.
- [86] M. Martin e M. A. Fitzgerald, «Proteins in rice grains influence cooking properties», *J. Cereal Sci.*, vol. 36, n. 3, pp. 285–294, 2002.
- [87] J. S. Godber e B. O. Juliano, «Rice lipids», em *Rice Chemistry and Technology*, E. T. Champagne, Ed. Am Assoc Cereal Chemists, 2004, pp. 163–190.
- [88] B. O. Juliano e M. S. Goddard, «Cause of varietal difference in insulin and glucose responses to ingested rice», *Qual. Plant. Plant Foods Hum. Nutr.*, vol. 36, n. 1, pp. 35–41, Mar. 1986.
- [89] Y. Tanaka, R. Adoracion, B. O. Juliano, D. B. Bechtel, e A. P. Resurreccion, «Properties of whole and undigested fraction of protein bodies of milled rice», *Agric. Biol. Chem.*, vol. 42, n. 11, pp. 2015–2023, Nov. 1978.
- [90] W. R. Morrison, «Cereal lipids», em *Advances in Cereal Science and Technology*.

- Vol. 2, Y. Pomeranz, Ed. St Paul, Minnesota: Am Assoc Cereal Chemists, 1978, pp. 221–348.
- [91] B. O. Juliano, «Lipids in rice and rice processing», em *Lipids in Cereal Technology*, P. J. Barnes, Ed. London: Academic Press, 1983, pp. 305–330.
- [92] A. Lam-Sánchez, J. Santos, K. Takamura, R. Treptow, e J. Dutra de Oliveira, «Estudos nutricionais com arroz (*Oryza sativa*, L.)», *Aliment. e Nutr. Araraquara*, vol. 5, pp. 37–48, 1993.
- [93] Ensminger A. H. e M. K. Ensminger, *Food for health: A Nutrition encyclopedia*. California: Pegus Press, 1986.
- [94] C. P. Villareal e B. O. Juliano, «Variability in contents of thiamine and riboflavin in brown rice, crude oil in brown rice and bran-polish, and silicon in hull of IR rices», *Plant Foods Hum. Nutr.*, vol. 39, n. 3, pp. 287–297, Set. 1989.
- [95] A. Sotelo, V. Sousa, I. Montalvo, M. Hernandez, e L. Hernandez-Aragon, «Chemical composition of different fractions of 12 Mexican varieties of rice obtained during milling», *Cereal Chem.*, vol. 67, n. 2, pp. 209–212, 1990.
- [96] G. Wang, B. Parpia, e Z. Wen, *The composition of chinese foods*. Washington DC: ILSI Press, 1997.
- [97] M. Yousaf, «Study on some physico-chemical characteristics affecting cooking and eating qualities of some Pakistani rice varieties», University of Agriculture Faisalabad, 1992.
- [98] D. Dhingra, M. Michael, H. Rajput, e R. T. Patil, «Dietary fibre in foods: A review», *Journal of Food Science and Technology*, vol. 49, n. 3. Springer-Verlag, pp. 255–266, 12-Jun-2012.
- [99] I. Nandi e M. Ghosh, «Studies on functional and antioxidant property of dietary fibre extracted from defatted sesame husk, rice bran and flaxseed», *Bioact. Carbohydrates Diet. Fibre*, vol. 5, n. 2, pp. 129–136, 2015.
- [100] C. F. Chau, C. H. Chen, e C. Y. Lin, «Insoluble fiber-rich fractions derived from Averrhoa carambola: Hypoglycemic effects determined by in vitro methods», *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 37, n. 3, pp. 331–335, Mai. 2004.
- [101] P. Lai, K. Y. Li, S. Lu, e H. H. Chen, «Physicochemical characteristics of rice starch supplemented with dietary fibre», *Food Chem.*, vol. 127, n. 1, pp. 153–158, 2011.
- [102] B. Xu e S. K. C. Chang, «Effect of soaking, boiling, and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes», *Food Chem.*, vol.

- 110, n. 1, pp. 1–13, 2008.
- [103] P.-Y. Chiang e A.-I. Yeh, «Effect of soaking on wet-milling of rice», *J. Cereal Sci.*, vol. 35, n. 1, pp. 85–94, Jan. 2002.
- [104] I. Lestienne, C. Icard-Vernière, C. Mouquet, C. Picq, e S. Trèche, «Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents», *Food Chem.*, vol. 89, n. 3, pp. 421–425, 2005.
- [105] K. Sareepuang, S. Siriamornpun, L. Wiset, e N. Meeso, «Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled fragrant rice», *World J. Agric. Sci.*, vol. 4, n. 4, pp. 409–415, 2008.
- [106] E. A. A. El-Hady e R. A. Habiba, «Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds», *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 36, n. 3, pp. 285–293, 2003.
- [107] H. Dutta e C. L. Mahanta, «Effect of hydrothermal treatment varying in time and pressure on the properties of parboiled rices with different amylose content», *Food Res. Int.*, vol. 49, n. 2, pp. 655–663, Dez. 2012.
- [108] C. Calpe, «Rice international commodity profile». Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p. 23, 2006.
- [109] IRRI, *IRRI toward 2000 and beyond*. Manila: IRRI, 1989.
- [110] W. G. Moseley, «Food security and ‘green revolution’», *Int. Encycl. Soc. Behav. Sci.*, vol. 8, pp. 307–310, 2015.
- [111] E. Frankema, «Africa and the green revolution a global historical perspective», *NJAS - Wageningen J. Life Sci.*, vol. 70, pp. 17–24, 2014.
- [112] Food and Agriculture Organization of the United Nations, «FAOSTAT DATABASE», 2016. [Em linha]. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. [Acedido: 11-Dez-2016].
- [113] A. S. Pinto, «O arroz», *Agronegócios*, 2015. [Em linha]. Disponível em: <http://www.agronegocios.eu/noticias/o-arroz/>. [Acedido: 26-Jan-2017].
- [114] X. Shu, J. Sun, e D. Wu, «Effects of grain development on formation of resistant starch in rice», *Food Chem.*, vol. 164, pp. 89–97, 2014.
- [115] United States Department of Agriculture, «World rice production, consumption, and stocks», *Local Marketing Years, Thousand Metric Tons*, 2016. [Em linha]. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=World+Rice+Production%2C+Consumption%2C+and+Stocks&hidReportRetrieval>

ID=681&hidReportRetrievalTemplateID=7. [Acedido: 11-Dez-2016].

- [116] D. J. Jenkins, T. M. Wolever, R. H. Taylor, H. Ghafari, A. L. Jenkins, H. Barker, e M. J. Jenkins, «Rate of digestion of foods and postprandial glycaemia in normal and diabetic subjects», *Br. Med. J.*, vol. 281, pp. 14–17, 1980.
- [117] J. W. J. Beulens, L. M. de Bruijne, R. P. Stolk, P. H. M. Peeters, M. L. Bots, D. E. Grobbee, e Y. T. van der Schouw, «High dietary glycemic load and glycemic index increase risk of cardiovascular disease among middle-aged women», *J. Am. Coll. Cardiol.*, vol. 50, n. 1, pp. 14–21, Jul. 2007.
- [118] S. B. Roberts, «High-glycemic index foods, hunger, and obesity: Is there a connection?», *Nutr. Rev.*, vol. 58, pp. 163–169, 2000.
- [119] T. M. S. Wolever, «Glycemic index claims on food labels: review of health Canada's evaluation», *Eur. J. Clin. Nutr.*, vol. 67, n. 12, pp. 1229–1233, Dez. 2013.
- [120] A. W. Barclay, P. Petocz, J. McMillan-Price, V. M. Flood, T. Prvan, P. Mitchell, e J. C. Brand-Miller, «Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk - a meta-analysis of observational studies», *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 87, n. 3, pp. 627–637, Mar. 2008.
- [121] L. M. Burke, G. R. Collier, e M. Hargreaves, «Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings», *J. Appl. Physiol.*, vol. 75, n. 2, pp. 1019–1023, 1993.
- [122] K. Foster-Powell, S. H. A. Holt, e J. C. Brand-Miller, «International table of glycemic index and glycemic load values: 2002», *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 76, n. 1, pp. 5–56, Jul. 2002.
- [123] D. J. Jenkins, T. Wolever, R. Josse, e G. Wong, «The glycemic response to carbohydrate foods», *Lancet*, vol. 18, pp. 388–391, 1984.
- [124] P. Hu, H. Zhao, Z. Duan, Z. Linlin, e D. Wu, «Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents», *J. Cereal Sci.*, vol. 40, n. 3, pp. 231–237, 2004.
- [125] K. Srikaeo e P. Arranz-Martínez, «Formulating low glycaemic index rice flour to be used as a functional ingredient», *J. Cereal Sci.*, vol. 61, pp. 33–40, 2015.
- [126] P. Rathinasabapathi, N. Purushothaman, R. VL, e M. Parani, «Whole genome sequencing and analysis of Swarna, a widely cultivated indica rice variety with low glycemic index», *Sci. Rep.*, vol. 5, p. 11303, Jun. 2015.
- [127] P. A. Krezowski, F. Q. Nuttall, M. C. Gannon, e N. H. Bartosh, «The effect of protein ingestion on the metabolic response to oral glucose in normal individuals.»,

- Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 44, n. 6, pp. 847–856, Dez. 1986.
- [128] M. J. Thorne, L. U. Thompson, e D. J. A. Jenkins, «Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legumes», *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 38, n. 3. American Society for Nutrition, pp. 481–488, Set-1983.
- [129] J. L. Slavin, M. C. Martini, D. R. Jacobs Jr, e L. Marquart, «Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains», *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 70, n. 3, p. 459s–463s, 1999.
- [130] H.-J. Chung, H. S. Lim, e S.-T. Lim, «Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch», *J. Cereal Sci.*, vol. 43, n. 3, pp. 353–359, 2006.
- [131] H. Fredriksson, I. Björck, R. Andersson, H. Liljeberg, J. Silverio, A. C. Eliasson, e P. Åman, «Studies on  $\alpha$ -amylase degradation of retrograded starch gels from waxy maize and high-amylopectin potato», *Carbohydr. Polym.*, vol. 43, n. 1, pp. 81–87, 2000.
- [132] M. Frei, P. Siddhuraju, e K. Becker, «Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines», *Food Chem.*, vol. 83, n. 3, pp. 395–402, 2003.
- [133] C. C. Denardin, M. Walter, L. P. da Silva, G. D. Souto, e C. A. A. Fagundes, «Effect of amylose content of rice varieties on glycemic metabolism and biological responses in rats», *Food Chem.*, vol. 105, n. 4, pp. 1474–1479, 2007.
- [134] F. Soriguer, N. Colomo, G. Oliveira, E. García-Fuentes, I. Esteva, M. S. Ruiz de Adana, S. Morcillo, N. Porrás, S. Valdés, e G. Rojo-Martínez, «White rice consumption and risk of type 2 diabetes», *Clin. Nutr.*, vol. 32, n. 3, pp. 481–484, 2013.
- [135] International Diabetes Federation, *Diabetes Atlas 2015*, 7.<sup>a</sup> ed. 2015.
- [136] World Health Organization, «WHO Expert Committee on diabetes mellitus: second report», Geneva, 1980.
- [137] National Diabetes Data Group, «Classification and diagnosis of diabetes mellitus and other categories of glucose intolerance», *Diabetes*, vol. 28, n. December, pp. 1039–1057, 1979.
- [138] J. Tuomilehto e E. Wolf, «Primary prevention of diabetes mellitus», *Diabetes Care*, vol. 10, n. 2, pp. 238–248, 1987.
- [139] J. V. Neel, «Diabetes mellitus: a “thrifty” genotype rendered detrimental by

- “progress”?», *Am. J. Hum. Genet.*, vol. 14, n. 4, pp. 353–362, Dez. 1962.
- [140] J. E. Shaw e D. J. Chisholm, «Epidemiology and prevention of type 2 diabetes and the metabolic syndrome», *Med. J. Aust.*, vol. 179, pp. 379–383, 2003.
- [141] K. A. Meyer, L. H. Kushi, D. R. Jacobs, J. Slavin, T. A. Sellers, e A. R. Folsom, «Carbohydrates, dietary fiber, and incident type 2 diabetes in older women», *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 71, n. 4, pp. 921–930, Abr. 2000.
- [142] S. Liu, J. E. Manson, M. J. Stampfer, F. B. Hu, E. Giovannucci, G. A. Colditz, C. H. Hennekens, e W. C. Willett, «A prospective study of whole-grain intake and risk of type 2 diabetes mellitus in US women», *Am. J. Public Health*, vol. 90, n. 9, pp. 1409–15, Set. 2000.
- [143] J. Montonen, P. Knekt, R. Järvinen, A. Aromaa, e A. Reunanen, «Whole-grain and fiber intake and the incidence of type 2 diabetes», *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 77, n. 3, pp. 622–629, Mar. 2003.
- [144] «História, fábrica e capacidade de produção», 2016. [Em linha]. Disponível em: <http://www.novarroz.pt/pt/quem-somos>. [Acedido: 09-Set-2016].
- [145] «PME Líder Edição 2016», *Exame 386*, Lisboa, p. 164, Jun-2016.
- [146] Assembleia da República, «Decreto-Lei n.º 62/2000 de 19 de Abril», *Diário da República - I Série-A*, pp. 1689–1692, 2000.
- [147] FAO Food Standards, «Standard for rice», *Codex Standard 198 - 1995*, p. 6, 1995.
- [148] J. A. Patindol, T. J. Siebenmorgen, e Y. J. Wang, «Impact of environmental factors on rice starch structure: A review», *Starch/Stärke*, vol. 67, n. 1–2, pp. 42–54, 2015.
- [149] C. Pinto, «Caracterização e aproveitamento tecnológico de variedades de arroz autóctone de Timor-Leste», Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- [150] Agromay Soluciones Técnicas S.L., «Statistic analyzer S21».
- [151] Agromay Soluciones Técnicas S.L., «Analizador estadístico S21», *Arroz*. [Em linha]. Disponível em: <http://www.agromay.com/ES/subapartado.php?apartado=Arroz&subapartado=Analizador Estad%EDstico S21>. [Acedido: 31-Jan-2017].
- [152] Perten, «Rapid Visco Analyser (RVA)», *Measure Performance of Ingredients and Finished Products*, 2015. [Em linha]. Disponível em: [http://www.perten.com/Global/Brochures/RVA/RVA Method Brochure\\_20151110.pdf](http://www.perten.com/Global/Brochures/RVA/RVA%20Method%20Brochure_20151110.pdf). [Acedido: 05-Fev-2017].
- [153] AACC Internacional, «Method 61-02.01 - Determination of the pasting properties of rice with the rapid visco analyser», em *Approved Methods of Analysis*, 11.<sup>a</sup> ed.,

- St. Paul, Minnesota, U.S.A.: AACC International, 1999, p. 4.
- [154] AACC Internacional, «Method 44-15.02. Moisture - Air-Oven Methods», em *Approved Methods of Analysis*, 11.<sup>a</sup> ed., St. Paul, Minnesota, U.S.A.: AACC International, 1993.
- [155] Nzytech, «D-Glucose GOD-POD, colorimetric method». Lisboa, pp. 1–4, 2012.
- [156] I. Goñi, A. Garcia-Alonso, e F. Saura-Calixto, «A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index», *Nutr. Res.*, vol. 17, n. 3, pp. 427–437, 1997.
- [157] E. C. F. Aguiar, «Study of rice varieties - chemical and nutricional facts», Universidade de Aveiro, 2015.
- [158] Internacional Organization for Standardization, *ISO 6647-1*. 2007, pp. 1–18.
- [159] M. L. Gonçalves, *Métodos instrumentais para a análise de soluções - Análise quantitativa*, 4.<sup>a</sup> ed. 2001.
- [160] AOAC International, *Official Methods of Analysis*, 16.<sup>a</sup> ed. 1999.
- [161] M. da C. Paiva, «Espectroscopia de Infravermelhos». Universidade do Minho, Braga, pp. 1–18, 2006.
- [162] M. Calingacion, A. Laborte, A. Nelson, A. Resurreccion, J. C. Concepcion, V. D. Daygon, R. Mumm, R. Reinke, S. Dipti, P. Z. Bassinello, J. Manful, S. Sophany, K. C. Lara, J. Bao, L. Xie, K. Loaiza, A. El-hissewy, J. Gayin, N. Sharma, S. Rajeswari, S. Manonmani, N. S. Rani, S. Kota, S. D. Indrasari, F. Habibi, M. Hosseini, F. Tavasoli, K. Suzuki, T. Umemoto, C. Boualaphanh, H. H. Lee, Y. P. Hung, A. Ramli, P. P. Aung, R. Ahmad, J. I. Wattoo, E. Bandonill, M. Romero, C. M. Brites, R. Hafeel, H. S. Lur, K. Cheaupun, S. Jongdee, P. Blanco, R. Bryant, N. T. Lang, R. D. Hall, e M. Fitzgerald, «Diversity of global rice markets and the science required for consumer-targeted rice breeding», *PLoS One*, vol. 9, n. 1, p. e85106, Jan. 2014.
- [163] S. D. Koutroubas, F. Mazzini, B. Pons, e D. A. Ntanos, «Grain quality variation and relationships with morpho-physiological traits in rice (*Oryza sativa* L.) genetic resources in Europe», *F. Crop. Res.*, vol. 86, n. 2–3, pp. 115–130, Mar. 2004.
- [164] L. Zhou, S. Liang, K. Ponce, S. Marundon, G. Ye, e X. Zhao, «Factors affecting head rice yield and chalkiness in indica rice», *F. Crop. Res.*, vol. 172, pp. 1–10, Fev. 2015.
- [165] K. S. McKenzie e J. N. Rutger, «Genetic analysis of amylose content, alkali spreading score, and grain dimensions in rice», *Crop Sci.*, vol. 23, pp. 306–319, 1983.

- [166] A. J. Lisle, M. Martin, e M. A. Fitzgerald, «Chalky and translucent rice grains differ in starch composition and structure, and cooking properties», *Cereal Chem.*, vol. 77, pp. 627–632, 2000.
- [167] S. S. Kim, S. E. Lee, O. W. Kim, e D. C. Kim, «Physicochemical characteristics of chalky kernels and their effects on sensory quality of cooked rice», *Cereal Chem.*, vol. 77, pp. 376–379, 2000.
- [168] R. M. R. Sandhya-rani e K. R. Bhattacharya, «Slurry viscosity as possible indicator of rice quality», *J. Texture Stud.*, vol. 20, pp. 139–149, 1989.
- [169] B. D. Webb, «Criteria of rice quality in the United States», em *Rice: Chemistry and Technology*, 2.<sup>a</sup> ed., B. O. Juliano, Ed. St Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1985, pp. 403–442.
- [170] T. Tashiro e I. F. Wardlaw, «The effect of high temperature on kernel dimensions and the type and occurrence of kernel damage in rice», *Aust. J. Agric. Res.*, vol. 42, pp. 485–496, 1991.
- [171] S. S. Kim, S. E. Lee, O. W. Kim, e D. C. Kim, «Physicochemical characteristics of chalky kernels and their effects on sensory quality of cooked rice», *Cereal Chem.*, vol. 77, n. 3, pp. 376–379, 2000.
- [172] Q. G. Ji, H. Q. Zheng, Z. X. Xu, e S. Y. Lan, «Observations on the microstructure of endosperm starch granule of rice with different qualities», *J. Fujian Agric. Univ.*, vol. 27, n. 2, pp. 241–244, 1998.
- [173] E. Adu-Kwarteng, W. O. Ellis, I. Oduro, e J. T. Manful, «Rice grain quality: A comparison of local varieties with new varieties under study in Ghana», *Food Control*, vol. 14, n. 7, pp. 507–514, Out. 2003.
- [174] J. S. Bao, «Toward understanding the genetic and molecular bases of the eating and cooking qualities of rice», em *Cereal Foods World*, 2012, vol. 57, n. 4, pp. 148–156.
- [175] D. Cozzolino, S. Roumeliotis, e J. Eglinton, «Grain and endosperm biophysical characteristics of barley malting», em *Barley - Physical Properties, Genetic Factors and Environmental Impacts on Growth*, K. Hasunuma, Ed. 2014, pp. 107–124.
- [176] A. S. Ross, C. E. Walker, R. I. Booth, R. A. Orth, e C. W. Wrigley, «The rapid viscoanalyser: a new technique for the evaluation of sprout damage», *Cereal Foods World*, vol. 32, pp. 827–829, 1987.
- [177] S. Wang, C. Li, L. Copeland, Q. Niu, e S. Wang, «Starch retrogradation: a



- comprehensive review», *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 14, n. 5, pp. 568–585, Set. 2015.
- [178] I. L. Batey, «Interpretation of RVA curves», em *The RVA Handbook*, G. B. Crosbie e A. S. Ross, Eds. AACC International, 2007, pp. 19–31.
- [179] H. Goesaert, K. Brijs, W. S. Veraverbeke, C. M. Courtin, K. Gebruers, e J. A. Delcour, «Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality», *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 16, n. 1, pp. 12–30, 2005.
- [180] J. Saunders, «Physicochemical properties of select western canadian wheat starches and their relationship to liquefaction and fermentative bio-ethanol performance», University of Manitoba, 2010.
- [181] R. I. Booth e M. L. Bason, «Principles of operation and experimental techniques», em *The RVA Handbook*, G. B. Crosbie e A. S. Ross, Eds. AACC International, 2007, pp. 1–19.
- [182] D. Cozzolino, «The use of the rapid visco analyser (RVA) in breeding and selection of cereals», *Journal of Cereal Science*, vol. 70, pp. 282–290, 2016.
- [183] R. Banchathanakij e M. Supphantharika, «Effect of different  $\beta$ -glucans on the gelatinisation and retrogradation of rice starch», *Food Chem.*, vol. 114, n. 1, pp. 5–14, 2009.
- [184] S. Dhital, L. Dabit, B. Zhang, B. Flanagan, e A. K. Shrestha, «In vitro digestibility and physicochemical properties of milled rice», *Food Chem.*, vol. 172, pp. 757–765, 2014.
- [185] K. Srikaeo e P. A. Sopade, «Functional properties and starch digestibility of instant Jasmine rice porridges», *Carbohydr. Polym.*, vol. 82, n. 3, pp. 952–957, 2010.
- [186] S. Varavinit, S. Shobsngob, W. Varayanond, P. Chinachoti, e O. Naivikul, «Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of thai rice», *Starch/Stärke*, vol. 55, n. 9, pp. 410–415, Set. 2003.
- [187] Q. Lin, Z. Liu, H. Xiao, L. Li, F. Yu, e W. Tian, «Studies on the pasting and rheology of rice starch with different protein residual», em *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 2010, vol. 317, pp. 407–419.
- [188] J. S. Mounsey e E. D. O’Riordan, «Characteristics of imitation cheese containing native or modified rice starches», *Food Hydrocoll.*, vol. 22, n. 6, pp. 1160–1169, 2008.

- [189] S. Varavinit, S. Shobsngob, W. Varayanond, P. Chinachoti, e O. Naivikul, «Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of thai rice», *Starch - Stärke*, vol. 55, n. 9, pp. 410–415, Set. 2003.
- [190] C. Froberg e U. La Cognata, «Starches with high amylose content and improved processing properties», US 2010/0189870 A1, 2010.
- [191] I.-M. Park, A. M. Ibáñez, F. Zhong, e C. F. Shoemaker, «Gelatinization and pasting properties of waxy and non-waxy rice starches», *Starch/Stärke*, vol. 59, pp. 388–396, 2007.
- [192] J. A. Patindol, X. Gu, e Y.-J. Wang, «Chemometric analysis of the gelatinization and pasting properties of long-grain rice starches in relation to fine structure», *Starch/Stärke*, vol. 61, pp. 3–11, 2009.
- [193] Y. Sang, S. Bean, P. A. Seib, J. Pedersen, e Y.-C. Shi, «Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content», *J. Agric. Food Chem.*, vol. 56, pp. 6680–6685, 2008.
- [194] A. A. Perdon, T. J. Siebenmorgen, A. Mauromoustakos, V. K. Griffin, e E. R. Johnson, «Degree of milling effects on rice pasting properties», *Cereal Chem.*, vol. 78, n. 2, pp. 205–209, 2001.
- [195] M. Mariotti, M. Zardi, M. Lucisano, e M. A. Pagani, «Influence of the heating rate on the pasting properties of various flours», *Starch/Stärke*, vol. 57, n. 11, pp. 564–572, Nov. 2005.
- [196] B. R. Hamaker e V. K. Griffin, «Effect of disulfide bond-protein on rice starch gelatinization and pasting», *Cereal Chem.*, vol. 70, pp. 377–380, 1993.
- [197] K. Tananuwong e Y. Malila, «Changes in physicochemical properties of organic hulled rice during storage under different conditions», *Food Chem.*, vol. 125, n. 1, pp. 179–185, 2011.
- [198] X. Kong, P. Zhu, Z. Sui, e J. Bao, «Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations», *Food Chem.*, vol. 172, n. 1, pp. 433–440, 2015.
- [199] N. Singh, L. Kaur, K. S. Sandhu, J. Kaur, e K. Nishinari, «Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches», *Food Hydrocoll.*, vol. 20, n. 4, pp. 532–542, 2006.
- [200] D. Zhu, H. Zhang, B. Guo, K. Xu, Q. Dai, C. Wei, G. Zhou, e Z. Huo, «Physicochemical properties of indica-japonica hybrid rice starch from chinese

- varieties», *Food Hydrocoll.*, vol. 63, pp. 356–363, 2017.
- [201] S. Y. You, S. K. Oh, H. S. Kim, e H. J. Chung, «Influence of molecular structure on physicochemical properties and digestibility of normal rice starches», *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 77, pp. 375–382, 2015.
- [202] K. O. Adebowale, B. I. Olu-Owolabi, E. Kehinde Olawumi, e O. S. Lawal, «Functional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpus artilis*) starch», *Ind. Crops Prod.*, vol. 21, n. 3, pp. 343–351, 2005.
- [203] S. Srichuwong e J. Jane, «Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures», *Food Sci. Biotechnol.*, vol. 16, pp. 663–674, 2007.
- [204] J. Hasjim, E. Li, e S. Dhital, «Milling of rice grains: Effects of starch/flour structures on gelatinization and pasting properties», *Carbohydr. Polym.*, vol. 92, n. 1, pp. 682–690, 2013.
- [205] Z. Zhou, K. Robards, S. Helliwell, e C. Blanchard, «Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes», *J. Cereal Sci.*, vol. 35, n. 1, pp. 65–78, Jan. 2002.
- [206] T. U. Tran, K. Suzuki, H. Okadome, H. Ikezaki, S. Homma, e K. Ohtsubo, «Detection of changes in taste of japonica and indica brown and milled rice (*Oryza sativa* L.) during storage using physicochemical analyses and a taste sensing system», *J. Agric. Food Chem.*, vol. 53, n. 4, pp. 1108–1118, 2005.
- [207] J. Loh, «The effect of shear rate and strain on the pasting behavior of food starches», *J. Food Eng.*, vol. 16, n. 1–2, pp. 75–90, Jan. 1992.
- [208] K. Ohishi, M. Kasai, A. Shimada, e K. Hatae, «Effects of acetic acid on the rice gelatinization and pasting properties of rice starch during cooking», *Food Res. Int.*, vol. 40, n. 2, pp. 224–231, 2007.
- [209] M. Bello, M. P. Tolaba, e C. Suarez, «Factors affecting water uptake of rice grain during soaking», *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 37, n. 8, pp. 811–816, Dez. 2004.
- [210] J. Jane, Y. Y. Chen, L. F. Lee, A. E. McPherson, K. S. Wong, M. Radosavljevic, e T. Kasemsuwan, «Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch», *Cereal Chem.*, vol. 76, n. 5, pp. 629–637, Set. 1999.
- [211] M. H. Ong e J. M. V. Blanshard, «Texture determinants in cooked, parboiled rice. I: Rice starch amylose and the fine structure of amylopectin», *Journal of Cereal Science*, vol. 21, n. 3, pp. 251–260, 1995.

- [212] G. E. Vandeputte, V. Derycke, J. Geeroms, e J. A. Delcour, «Rice starches. II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties», *J. Cereal Sci.*, vol. 38, n. 1, pp. 53–59, 2003.
- [213] K. R. Bhattacharya, C. M. Sowbhagya, e Y. M. Indudhara Swamy, «Quality profiles of rice: a tentative scheme for classification», *J. Food Sci.*, vol. 47, n. 564–569, 1982.
- [214] N. Singh, L. Kaur, N. Singh Sodhi, e K. Singh Sekhon, «Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars», *Food Chem.*, vol. 89, n. 2, pp. 253–259, 2005.
- [215] Y. Hibi e Hikone, «Roles of water-soluble and water-insoluble carbohydrates in the gelatinization and retrogradation of rice starch», *Starch/Stärke*, vol. 50, pp. 474–478, 1998.
- [216] Z. H. Lu, T. Sasaki, Y. Y. Li, T. Yoshihashi, L. Te Li, e K. Kohyama, «Effect of amylose content and rice type on dynamic viscoelasticity of a composite rice starch gel», *Food Hydrocoll.*, vol. 23, n. 7, pp. 1712–1719, 2009.
- [217] L. N. Panlasigui, L. U. Thompson, B. O. Juliano, C. M. Perez, S. H. Yiu, e G. R. Greenberg, «Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestability and glycemic response in humans», *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 54, n. October 2016, pp. 871–877, 1991.
- [218] N. Inouchi, H. Hibi, T. Li, T. Horibata, H. Fuwa, e T. Itani, «Structure and properties of endosperm starches from cultivated rice of Asia and other countries», *J. Appl. Glycosci.*, vol. 52, n. 3, pp. 239–246, 2005.
- [219] T. P. Trinidad, A. C. Mallillin, R. R. Encabo, R. S. Sagum, A. D. Felix, e B. O. Juliano, «The effect of apparent amylose content and dietary fibre on the glycemic response of different varieties of cooked milled and brown rice», *Int. J. Food Sci. Nutr.*, vol. 64, n. 1, pp. 89–93, Fev. 2013.
- [220] L. N. Panlasigui e L. U. Thompson, «Blood glucose lowering effects of brown rice in normal and diabetic subjects», *Int. J. Food Sci. Nutr.*, vol. 57, n. 3–4, pp. 151–158, Jan. 2006.
- [221] S. Chitrakorn, «Rice and the Thai way of life», em *Science and Technology with Thai Rice*, S. Lorlowhakarn, Ed. Bangkok: Thailand's National Science and Technology Development Agency, 2003, pp. 13–22.
- [222] V. P. Yuryev, A. V. Krivandin, V. I. Kiseleva, L. A. Wasserman, N. K. Genkina, J. Fornal, W. Blaszcak, e A. Schiraldi, «Structural parameters of amylopectin

- clusters and semi-crystalline growth rings in wheat starches with different amylose content», *Carbohydr. Res.*, vol. 339, n. 16, pp. 2683–2691, 2004.
- [223] J. Cai, J. Man, J. Huang, Q. Liu, W. Wei, e C. Wei, «Relationship between structure and functional properties of normal rice starches with different amylose contents», *Carbohydr. Polym.*, vol. 125, pp. 35–44, 2015.
- [224] J. M. M. Van Amelsvoort e J. A. Weststrate, «Amylose-amylopectin ratio in a meal affects postprandial variables in male volunteers», *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 55, n. 3, pp. 712–718, Mar. 1992.
- [225] S. . Haralampu, «Resistant starch—a review of the physical properties and biological impact of RS3», *Carbohydr. Polym.*, vol. 41, n. 3, pp. 285–292, 2000.
- [226] K. Srikaeo e J. Sangkhiaw, «Effects of amylose and resistant starch on glycaemic index of rice noodles», *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 59, n. 2P1, pp. 1129–1135, Dez. 2014.
- [227] Y. Yao, J. Zhang, e X. Ding, «Structure-retrogradation relationship of rice starch in purified starches and cooked rice grains: A statistical investigation», *J. Agric. Food Chem.*, vol. 50, n. 25, pp. 7420–7425, 2002.
- [228] H. Dutta e C. L. Mahanta, «Laboratory process development and physicochemical characterization of a low amylose and hydrothermally treated ready-to-eat rice product requiring no cooking», *Food Bioprocess Technol.*, vol. 7, n. 1, pp. 212–223, Jan. 2014.
- [229] S. C. Deka, D. R. Sood, e K. R. Gupta, «Nutritional evaluation of basmati rice (*Oryza sativa* L.) genotypes», *J. Food Sci. Technol.*, vol. 37, pp. 272–276, 2000.
- [230] B. O. Otegbayo, F. Osamuel, e J. B. Fashakin, «Effect of parboiling on physico-chemical qualities of two local rice varieties in Nigeria», *J. Food Technol. Africa*, vol. 6, n. 4, pp. 130–132, Abr. 2001.
- [231] E. A. Hu, A. Pan, V. Malik, e Q. Sun, «White rice consumption and risk of type 2 diabetes: meta-analysis and systematic review», *BMJ*, vol. 344, pp. e1454–e1454, 2012.
- [232] M. A. Fitzgerald, S. Rahman, A. P. Resurreccion, J. Concepcion, V. D. Daygon, S. S. Dipti, K. A. Kabir, B. Klingner, M. K. Morell, e A. R. Bird, «Identification of a major genetic determinant of glycaemic index in rice», *Rice*, vol. 4, n. 2, pp. 66–74, Jun. 2011.
- [233] P. Bhattacharjee, R. S. Singhal, e P. R. Kulkarni, «Basmati rice: A review», *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 37, n. 1. Blackwell

Science Ltd., pp. 1–12, Jan-2002.

- [234] J. J. Chen, S. Lu, e C. Y. Lii, «Effect of milling on the physicochemical characteritics of waxy rice in Taiwan», *Cereal Chem.*, vol. 76, pp. 796–799, 1999.

## 9. ANEXOS

---

- 9.1** Caracterização física das variedades (sem imersão)
- 9.2** Propriedades reológicas das variedades (sem imersão)
- 9.3** Caracterização química das variedades (sem imersão)
- 9.4** Caracterização química das variedades (com imersão durante 1 hora a temperatura ambiente)

## 9.1 Características físicas das variedades (sem imersão)

<i>Amostra</i>	<i>Tipo</i>	<i>Comprimento (mm)</i>	<i>Largura (mm)</i>	<i>C/L</i>	<i>Brancura Total</i>	<i>Brancura Vítrea</i>	<i>% Área gessada</i>	<i>Kett</i>
<i>Indica 6-16P</i>	Agulha (película)	6.9	2.1	3.3	124.7	116.0	15.7	22.0
<i>Indica 8-16P</i>	Agulha (película)	6.2	1.9	3.3	122.6	117.50	7.9	22.0
<i>Indica 7-I</i>	Agulha (película)	6.6	2.0	3.4	124.7	120.1	8.0	20.3
<i>Indica 7-NP</i>	Agulha (película)	6.3	1.9	3.4	119.3	116.0	5.2	20.5
<i>Indica 15-16P</i>	Agulha (película)	6.2	2.0	3.2	124.1	118.6	9.0	23.3
<i>Japónica 1-16P</i>	Carolino (película)	6.7	2.5	2.7	118.6	112.0	11.2	19.3
<i>Japónica 16-I</i>	Médio (película)	5.3	2.6	2.0	129.5	119.0	16.3	24.6
<i>Japónica 16-4P</i>	Médio (película)	5.3	2.7	2.0	128.2	118.6	14.8	23.6
<i>Indica 6-14</i>	Agulha	7.3	2.1	3.4	124.4	118.7	9.3	38.7
<i>Indica 6-16</i>	Agulha	6.7	2.2	3.1	147.7	125.4	43.8	39.8
<i>Indica 7-14</i>	Agulha	6.8	2.0	3.3	129.2	120.4	14.8	40.9
<i>Indica 7-16</i>	Agulha	6.1	2.0	3.0	140.3	126.7	25.4	41.0
<i>Indica 7-E</i>	Agulha	6.4	2.0	3.2	144.2	126.7	35.1	35.5
<i>Indica 7-N</i>	Agulha	5.8	1.9	3.1	139.7	126.5	19.5	41.8
<i>Indica 8-16</i>	Agulha	5.8	1.9	3.1	140.8	128.6	20.1	42.3
<i>Indica 15-16</i>	Agulha	5.8	2.0	2.9	143.6	128.7	23.9	42.4
<i>Indica 1-14</i>	Agulha (aromático)	6.8	1.8	3.8	148.0	119.4	45.9	39.2
<i>Indica 1-16</i>	Agulha (aromático)	7.3	1.8	4.1	131.9	122.1	35.5	39.1
<i>Indica 11-1</i>	Agulha (aromático)	8.1	1.8	4.5	137.9	126.3	14.7	36.0
<i>Indica 11-2</i>	Agulha (aromático)	8.1	1.8	4.5	147.8	125.7	40.4	37.8
<i>Indica 12-2</i>	Agulha (aromático)	8.1	1.8	4.4	142.7	121.1	36.5	29.4
<i>Indica 17-16</i>	Agulha (aromático)	6.2	1.8	3.4	138.8	131.7	13.5	42.1
<i>Indica 18-16</i>	Agulha (aromático)	6.3	1.8	3.5	134.5	129.2	9.2	36.2
<i>Comercial-M11</i>	Agulha (aromático)	8.0	2.0	4.0	116.3	114.1	3.5	23.2
<i>Comercial-M12</i>	Agulha (aromático vaporizado)	7.6	1.9	4.0	107.10	105.8	1.8	19.8
<i>Comercial-M16</i>	Agulha (aromático vaporizado)	7.9	1.8	4.3	109.12	107.3	2.6	18.8
<i>Comercial-R12</i>	Agulha (aromático)	7.1	1.8	4.0	134.0	123.0	18.9	33.8
<i>Comercial-R13</i>	Agulha (aromático)	7.8	1.8	4.2	132.8	125.8	13.0	33.4
<i>Comercial-PS</i>	Agulha (aromático)	7.6	1.8	4.4	130.2	119.7	17.5	31.7
<i>Japónica 1-12</i>	Carolino	6.2	2.4	2.5	150.9	1123.0	53.8	41.4
<i>Japónica 1-14</i>	Carolino	6.1	2.4	2.6	149.5	123.6	47.9	40.8
<i>Japónica 1-16</i>	Carolino	6.1	2.4	2.5	144.7	132.8	27.3	39.4
<i>Japónica 16-16</i>	Médio	5.5	2.7	2.0	163.8	122.8	59.3	47.7
<i>Japónica 16-4</i>	Médio	5.1	2.7	1.9	154.6	124.4	42.4	46.7
<i>Japónica 17-15</i>	Médio	5.4	2.2	2.5	148.9	123.4	48.3	44.3
<i>Japónica 15-14</i>	Médio	5.1	2.7	1.9	161.0	117.2	62.9	43.6
<i>Japónica 15-16</i>	Médio	5.1	2.7	1.9	151.4	123.3	47.9	44.5
<i>Japónica 15-E</i>	Médio	5.1	2.7	1.9	156.4	126.2	51.1	46.1
<i>Indica 9-15</i>	Agulha	6.6	2.2	3.0	118.0	114.9	5.0	19.2
<i>Indica 9-16</i>	Agulha	6.4	2.2	2.9	117.8	114.2	5.4	19.4
<i>Indica 10-16</i>	Agulha (vaporizado)	6.4	2.0	3.2	111.5	108.2	4.3	23,5



9.2 Propriedades reológicas das variedades (sem imersão)

<i>Amostra</i>	<i>Tipo</i>	<i>Pico (cP)</i>	<i>Vala (cP)</i>	<i>Breakdown (cP)</i>	<i>Viscosidade final (cP)</i>	<i>Setback (cP)</i>	<i>Tempo do pico (min)</i>	<i>Pasting temperature (°C)</i>
<i>Indica 6-16P</i>	Agulha (película)	948.0±41.0 <sup>efg</sup>	861.0±58.0 <sup>abcd</sup>	87.0±17.0 <sup>abcd</sup>	1826.5±103.9 <sup>ghj</sup>	878.5 ±62.9 <sup>hijl</sup>	6.3±0.27 <sup>abc</sup>	92.5±0.1 <sup>cdefgh</sup>
<i>Indica 8-16P</i>	Agulha (película)	538.5±10.6 <sup>cd</sup>	539.0±12.7 <sup>ab</sup>	-0.5±2.1 <sup>ab</sup>	1308.5±2.1 <sup>de</sup>	770.0±12.7 <sup>ghi</sup>	6.9±0.1 <sup>cd</sup>	94.5±0.5 <sup>hijl</sup>
<i>Indica 7-I</i>	Agulha (película)	486.0±87.7 <sup>bc</sup>	489.5±87.0 <sup>ab</sup>	-3.5±0.7 <sup>ab</sup>	1582.5±195.9 <sup>efg</sup>	1096.5±108.2 <sup>mno</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	94.9±0.1 <sup>ijl</sup>
<i>Indica 7-NP</i>	Agulha (película)	514.0±2.8 <sup>bcd</sup>	513.0±1.4 <sup>ab</sup>	-1.5±0.7 <sup>ab</sup>	1309.5±2.1 <sup>de</sup>	798.0±2.8 <sup>hi</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	93.3±0.0 <sup>efghijl</sup>
<i>Indica 15-16P</i>	Agulha (película)	861.5±21.9 <sup>ef</sup>	806.0±32.5 <sup>abc</sup>	55.5±10.6 <sup>abc</sup>	1905.0±50.9 <sup>ghij</sup>	1043.5±29.0 <sup>lmno</sup>	6.1±0.1 <sup>ab</sup>	92.2±0.6 <sup>cdefgh</sup>
<i>Japónica 1-16P</i>	Carolino (película)	749.0±116.0 <sup>de</sup>	680.0±110.3 <sup>abcd</sup>	69.0±5.7 <sup>abcd</sup>	1524.0±202.2 <sup>efg</sup>	775.0±86.3 <sup>ghi</sup>	6.3±0.1 <sup>abc</sup>	94.1±0.0 <sup>ghijl</sup>
<i>Japónica 16-I</i>	Médio (película)	1217.0±63.6 <sup>hijl</sup>	855.0±70.7 <sup>ef</sup>	362.0±7.1 <sup>ef</sup>	1686.0±84.9 <sup>efgh</sup>	469.0±21.2 <sup>cde</sup>	6.0±0.1 <sup>ab</sup>	90.2±0.0 <sup>abcd</sup>
<i>Japónica 16-4P</i>	Médio (película)	1297.0±25.5 <sup>ijl</sup>	880.0±15.6 <sup>efg</sup>	417.0±9.9 <sup>efg</sup>	1728.5±23.3 <sup>fgh</sup>	431.5±2.1 <sup>cde</sup>	6.0±0.0 <sup>d</sup>	90.2±0.0 <sup>abcd</sup>
<i>Indica 6-14</i>	Agulha	1440.0±56.6 <sup>lm</sup>	1418.0±19.8 <sup>ab</sup>	-4.3±0.1 <sup>ab</sup>	2471.5±24.8 <sup>lmnopq</sup>	1659.0±18.4 <sup>st</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	90.5±0.7 <sup>abcd</sup>
<i>Indica 6-16</i>	Agulha	950.5±79.9 <sup>efg</sup>	952.5±82.7 <sup>ab</sup>	-2.0±2.8 <sup>ab</sup>	2084.5±207.2 <sup>hijl</sup>	1134.0±127.3 <sup>no</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	94.5±0.6 <sup>hijl</sup>
<i>Indica 7-14</i>	Agulha	1097.5±143.5 <sup>fghi</sup>	1104.5±139.3 <sup>a</sup>	-7.0±4.2 <sup>a</sup>	2853.5±253.9 <sup>qrs</sup>	1756.0±110.3 <sup>t</sup>	7.00±0.00 <sup>d</sup>	93.3±1.1 <sup>efghijl</sup>
<i>Indica 7-16</i>	Agulha	1234.0±25.5 <sup>hijl</sup>	1162.5±29.0 <sup>abcd</sup>	71.5±54.5 <sup>abcd</sup>	2313.0±63.6 <sup>ilmn</sup>	1079.0±89.1 <sup>lmno</sup>	6.3±0.2 <sup>abc</sup>	91.7±1.1 <sup>bcddef</sup>
<i>Indica 7-E</i>	Agulha	888.5±5.0 <sup>ef</sup>	902.0±7.1 <sup>a</sup>	-11.5±0.7 <sup>a</sup>	2492.5±6.4 <sup>lmnopqr</sup>	1616.0±5.7 <sup>rst</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	94.4±0.6 <sup>hijl</sup>
<i>Indica 7-N</i>	Agulha	1112.5±113.8 <sup>fghi</sup>	1041.0±50.9 <sup>abcd</sup>	71.5±62.9 <sup>abcd</sup>	2293.0±79.2 <sup>ijlmn</sup>	1180.5±34.7 <sup>nop</sup>	6.2±0.1 <sup>abc</sup>	92.4±0.0 <sup>cdefgh</sup>
<i>Indica 8-16</i>	Agulha	1394.5±36.1 <sup>jl</sup>	1287.5±44.6 <sup>bcd</sup>	107.0±8.5 <sup>bcd</sup>	2754.5±82.7 <sup>opqrs</sup>	1360.0±46.7 <sup>pq</sup>	6.4±0.0 <sup>d</sup>	93.3±0.1 <sup>efghijl</sup>
<i>Indica 15-16</i>	Agulha	1773.5±50.2 <sup>n</sup>	1438.0±19.8 <sup>e</sup>	335.5±30.4 <sup>e</sup>	2778.0±36.8 <sup>pqrs</sup>	1004.5±13.4 <sup>ilmn</sup>	6.1±0.0 <sup>d</sup>	91.4±0.0 <sup>bcdefg</sup>
<i>Indica 1-14</i>	Agulha (aromático)	1189.0±19.8 <sup>ghij</sup>	1201.5±13.4 <sup>a</sup>	-17.5±0.7 <sup>a</sup>	2885.0±87.7 <sup>rs</sup>	1651.5±5.0 <sup>st</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	94.0±0.0 <sup>ghijl</sup>
<i>Indica 1-16</i>	Agulha (aromático)	967.5±0.7 <sup>efgh</sup>	984.0±0.0 <sup>a</sup>	-16.5±0.7 <sup>a</sup>	2187.5 ±24.8 <sup>ijlm</sup>	1220.0±24.0 <sup>op</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	95.2±0.2 <sup>l</sup>
<i>Indica 11-1</i>	Agulha (aromático)	763.0±4.2 <sup>de</sup>	774.5±7.8 <sup>a</sup>	-12.0±1.4 <sup>a</sup>	2243.5±7.9 <sup>ilmn</sup>	1481.0±7.1 <sup>qrs</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	95.6±0.6 <sup>l</sup>
<i>Indica 11-2</i>	Agulha (aromático)	1402.5±27.6 <sup>ilm</sup>	1276.5±27.6 <sup>cd</sup>	126.0±55.2 <sup>cd</sup>	2627.0±9.9 <sup>nopqrs</sup>	1224.5±17.7 <sup>op</sup>	6.5±0.2 <sup>bcd</sup>	94.5±0.3 <sup>hijl</sup>
<i>Indica 12-2</i>	Agulha (aromático)	360.5±0.7 <sup>abc</sup>	369.5±2.1 <sup>a</sup>	-9.0±1.4 <sup>a</sup>	936.5±26.2 <sup>cd</sup>	576.00±26.87 <sup>efg</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	err±err
<i>Indica 17-16</i>	Agulha (aromático)	2154.0±1.4 <sup>pq</sup>	1681.5±5.0 <sup>g</sup>	468.5 ±2,1 <sup>g</sup>	2870.5±6.4 <sup>qrs</sup>	710.0±1.4 <sup>fgh</sup>	5.8±0.1 <sup>a</sup>	92.5±0.0 <sup>defghi</sup>
<i>Indica 18-16</i>	Agulha (aromático)	2049.5±2.1 <sup>op</sup>	1423.5±6.4 <sup>hi</sup>	615.5±6,4 <sup>hi</sup>	2886.5±17.7 <sup>rs</sup>	827.5±2.1 <sup>hij</sup>	5.8±0.1 <sup>a</sup>	92.5±0.0 <sup>defghi</sup>
<i>Comercial-M11</i>	Agulha (aromático)	196.5±3.5 <sup>a</sup>	199.5±3.54 <sup>b</sup>	-3.0±0.0 <sup>ab</sup>	377.0±9.9 <sup>ab</sup>	180.5±6.4 <sup>ab</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	err±err
<i>Comercial-M12</i>	Agulha (aromático vaporizado)	205.5±2.1 <sup>a</sup>	208.0±2.8 <sup>ab</sup>	-2.5±0.7 <sup>ab</sup>	392.0±8.5 <sup>ab</sup>	186.5±6.4 <sup>ab</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	err±err
<i>Comercial-M16</i>	Agulha (aromático vaporizado)	192.0±7.1 <sup>a</sup>	194.0±4.2 <sup>ab</sup>	-3.5±0.7 <sup>ab</sup>	323.0±5.7 <sup>a</sup>	132.5±0.7 <sup>a</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	err±err
<i>Comercial-R12</i>	Agulha (aromático)	576.5±33.2 <sup>cd</sup>	589.0±32.5 <sup>a</sup>	-12.5±0.7 <sup>a</sup>	1350.5±62.9 <sup>ef</sup>	774.0±29.7 <sup>ghi</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	err±err
<i>Comercial-R13</i>	Agulha (aromático)	336.0±4.2 <sup>abc</sup>	343.0±4.2 <sup>a</sup>	-7.0±0.0 <sup>a</sup>	689.0±22.6 <sup>abc</sup>	353.0±18.4 <sup>bcd</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	err±err
<i>Comercial-PS</i>	Agulha (aromático)	392.0±26.9 <sup>abc</sup>	401.0±26.9 <sup>a</sup>	-9.0±0.0 <sup>a</sup>	755.0±14.1 <sup>bc</sup>	363.0±12.7 <sup>bcd</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	err±err
<i>Japónica 1-12</i>	Carolino	1651.5±98.3 <sup>mn</sup>	1600.5±98.3 <sup>abc</sup>	51.0±0.0 <sup>abc</sup>	3441.5±126.6 <sup>t</sup>	1790.0±28.3 <sup>t</sup>	6.2±0.1 <sup>ab</sup>	91.7±0.0 <sup>bcdefg</sup>
<i>Japónica 1-14</i>	Carolino	1853.5±29.0 <sup>no</sup>	1364.0±18.4 <sup>q</sup>	479.0±5.7 <sup>g</sup>	2785.5±9.2 <sup>pqrs</sup>	932.5±6.4 <sup>ijlm</sup>	5.9±0.9 <sup>ab</sup>	91.5±0.7 <sup>bcde</sup>
<i>Japónica 1-16</i>	Carolino	1370.5 ±3.5 <sup>ijl</sup>	1193.0±2.8 <sup>d</sup>	177.5 ±0.7 <sup>d</sup>	2419.0±17.0 <sup>lmnop</sup>	1048.5±13.4 <sup>lmno</sup>	6.3±0.0 <sup>abc</sup>	93.7±0.6 <sup>efghijl</sup>
<i>Japónica 16-16</i>	Médio	2130.5±40.3 <sup>pq</sup>	1418.5±53.0 <sup>ij</sup>	712.0±12.7 <sup>ij</sup>	2560.5±79.9 <sup>mnopqr</sup>	430.0±39.6 <sup>cde</sup>	6.2±0.1 <sup>abc</sup>	88.5±0.0 <sup>a</sup>
<i>Japónica 16-4</i>	Médio	2443.0±101.8 <sup>r</sup>	1597.0±32.5 <sup>l</sup>	846.0±69.3 <sup>l</sup>	2740.5±57.3 <sup>opqr</sup>	297.5±44.6 <sup>abc</sup>	6.3±0.1 <sup>abc</sup>	88.5±0.1 <sup>a</sup>
<i>Japónica 17-15</i>	Médio	1101.5±14.9 <sup>fghi</sup>	1107.5±17.7 <sup>a</sup>	-6.0±2.8 <sup>a</sup>	2540.5±3.5 <sup>mnopqr</sup>	1439.0±18.4 <sup>gr</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	92.1±0.5 <sup>defghi</sup>
<i>Japónica 15-14</i>	Médio	2229.5±67.2 <sup>pqr</sup>	1553.0±96.2 <sup>ij</sup>	649.5±9.2 <sup>ij</sup>	3152.5±20.5 <sup>st</sup>	817.5±61.5 <sup>hij</sup>	6.0±0.1 <sup>ab</sup>	90.2±0.0 <sup>abcd</sup>
<i>Japónica 15-16</i>	Médio	2356.5±29.0 <sup>qr</sup>	1619.5±30.4 <sup>jl</sup>	737.0±1.4 <sup>jl</sup>	2887.5±51.6 <sup>rs</sup>	531.0±22.6 <sup>def</sup>	6.2±0.1 <sup>abc</sup>	90.1±0.0 <sup>abc</sup>
<i>Japónica 15-E</i>	Médio	1752.5±183.1 <sup>n</sup>	1249.0±69.3 <sup>gh</sup>	503.5±113.8 <sup>gh</sup>	2346.5±263.8 <sup>lmno</sup>	594.0±80.6 <sup>efg</sup>	6.1±0.1 <sup>ab</sup>	89.4±1.2 <sup>ab</sup>
<i>Indica 9-15</i>	Agulha	400.5±64.4 <sup>abc</sup>	404.5 ±64.4 <sup>ab</sup>	-4.00±0.00 <sup>ab</sup>	697.5±132.2 <sup>abc</sup>	297.0±67.9 <sup>abc</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	err±err
<i>Indica 9-16</i>	Agulha	442.0±4.2 <sup>abc</sup>	446.0±2.8 <sup>ab</sup>	-4.00±1.41 <sup>ab</sup>	719.0±9.9 <sup>abc</sup>	277.0±5.7 <sup>abc</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	err±err
<i>Indica 10-16</i>	Agulha (vaporizado)	278.0±1.4 <sup>ab</sup>	281.0±1.4 <sup>ab</sup>	-3.00±0.00 <sup>ab</sup>	471.5±9.2 <sup>ab</sup>	193.5±7.8 <sup>ab</sup>	7.0±0.0 <sup>d</sup>	err±err

9.3 Caracterização química das variedades (sem imersão)

<i>Amostra</i>	<i>Tipo</i>	<i>Humidade (%)</i>	<i>Amido total (% em matéria seca)</i>	<i>Amido resistente (% em matéria seca)</i>	<i>Amilose (% em matéria seca)</i>	<i>Amilopectina (% em matéria seca)</i>	<i>Amilose / Amilopectina</i>	<i>Proteína (% em matéria seca)</i>	<i>Índice Glicémico</i>
<i>Indica 6-16P</i>	Agulha (película)	10.3	79.2±0.4 <sup>a</sup>	6.1±0.5 <sup>cdefg</sup>	17.8±1.7 <sup>ab</sup>	82.2±1.7 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	9.4±0.6 <sup>abc</sup>	72.8±2.0 <sup>abcdef</sup>
<i>Indica 8-16P</i>	Agulha (película)	12.4	70.2±2.3 <sup>a</sup>	3.2±0.3 <sup>abc</sup>	14.4±0.6 <sup>ab</sup>	85.6±0.6 <sup>ab</sup>	0.3±0.1 <sup>ab</sup>	9.6±0.2 <sup>abc</sup>	81.7±2.8 <sup>efgh</sup>
<i>Indica 7-I</i>	Agulha (película)	14.4	68.4±0.9 <sup>a</sup>	9.3±0.6 <sup>hijlmn</sup>	18.0±1.3 <sup>ab</sup>	82.0±1.3 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	9.7±1.4 <sup>abc</sup>	76.5±1.1 <sup>bcdefgh</sup>
<i>Indica 7-NP</i>	Agulha (película)	12.4	72.0±1.6 <sup>a</sup>	5.6±0.1 <sup>cdefg</sup>	12.9±0.0 <sup>ab</sup>	87.2±0.0 <sup>ab</sup>	0.2±0.0 <sup>a</sup>	8.1±0.0 <sup>abc</sup>	82.2±1.0 <sup>efgh</sup>
<i>Indica 15-16P</i>	Agulha (película)	13.4	68.3±0.2 <sup>a</sup>	6.2±0.6 <sup>defg</sup>	11.1±0.2 <sup>ab</sup>	88.9±0.2 <sup>ab</sup>	0.2±0.0 <sup>a</sup>	8.8±1.0 <sup>abc</sup>	71.2±0.2 <sup>bcdefgh</sup>
<i>Japónica 1-16P</i>	Carolino (película)	12.2	74.2±1.3 <sup>a</sup>	4.6±0.2 <sup>abcdef</sup>	18.5±0.4 <sup>ab</sup>	81.5±0.4 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	7.7±0.3 <sup>abc</sup>	70.6±1.7 <sup>abcdefg</sup>
<i>Japónica 16-I</i>	Médio (película)	14.1	66.6±0.2 <sup>a</sup>	6.9±0.7 <sup>fgh</sup>	15.1±1.3 <sup>ab</sup>	84.9±1.3 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>a</sup>	8.3±0.8 <sup>abc</sup>	74.4±1.3 <sup>bcdefgh</sup>
<i>Japónica 16-4P</i>	Médio (película)	13.2	72.3±0.6 <sup>a</sup>	2.1±0.1 <sup>abcd</sup>	14.4±1.7 <sup>ab</sup>	85.6±1.7 <sup>ab</sup>	0.2±0.1 <sup>a</sup>	7.9±0.0 <sup>abc</sup>	77.6±0.6 <sup>bcdefgh</sup>
<i>Indica 6-14</i>	Agulha	12.5	82.1±0.6 <sup>a</sup>	9.7±0.8 <sup>hijlm</sup>	27.9±0.6 <sup>ab</sup>	72.1±0.6 <sup>ab</sup>	0.5±0.0 <sup>ab</sup>	7.3±0.3 <sup>abc</sup>	66.9±1.6 <sup>abcd</sup>
<i>Indica 6-16</i>	Agulha	9.0	87.2±0.8 <sup>a</sup>	11.0±0.5 <sup>ijlmn</sup>	22.6±0.6 <sup>ab</sup>	77.4±0.6 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	8.5±0.8 <sup>abc</sup>	63.4±0.7 <sup>a</sup>
<i>Indica 7-14</i>	Agulha	12.8	90.2±0.7 <sup>a</sup>	7.1±0.3 <sup>fghi</sup>	7.1±0.6 <sup>b</sup>	92.9±0.6 <sup>a</sup>	1.7±2.8 <sup>b</sup>	8.2±1.0 <sup>abc</sup>	65.4±0.6 <sup>ab</sup>
<i>Indica 7-16</i>	Agulha	11.4	91.1±0.6 <sup>a</sup>	11.2±0.2 <sup>ijlmn</sup>	19.8±0.0 <sup>ab</sup>	80.2±0.0 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>a</sup>	8.9±0.2 <sup>abc</sup>	68.8±0.7 <sup>abcd</sup>
<i>Indica 7-E</i>	Agulha	11.1	88.3±0.5 <sup>a</sup>	7.7±0.7 <sup>hijlmn</sup>	8.5±0.3 <sup>ab</sup>	91.5±0.3 <sup>ab</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>	9.0±0.3 <sup>abc</sup>	71.9±2.7 <sup>abcde</sup>
<i>Indica 7-N</i>	Agulha	12.8	83.0±0.7 <sup>a</sup>	5.4±0.1 <sup>cdefg</sup>	16.9±1.9 <sup>ab</sup>	83.1±1.9 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>a</sup>	7.4±1.3 <sup>abc</sup>	75.8±0.3 <sup>bcdefg</sup>
<i>Indica 8-16</i>	Agulha	12.4	74.3±0.8 <sup>a</sup>	2.0±0.0 <sup>a</sup>	19.3±1.4 <sup>ab</sup>	80.7±1.4 <sup>ab</sup>	0.3±0.1 <sup>ab</sup>	8.3±0.2 <sup>abc</sup>	86.5±1.4 <sup>gh</sup>
<i>Indica 15-16</i>	Agulha	13.9	75.2±0.4 <sup>a</sup>	5.6±0.4 <sup>o</sup>	13.7±1.0 <sup>ab</sup>	86.3±1.0 <sup>ab</sup>	0.2±0.0 <sup>a</sup>	8.3±0.2 <sup>abc</sup>	78.9±1.1 <sup>cdefgh</sup>
<i>Indica 1-14</i>	Agulha (aromático)	10.2	89.3±0.4 <sup>a</sup>	11.3±0.3 <sup>n</sup>	22.4±1.4 <sup>ab</sup>	77.7±1.4 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	7.5±0.1 <sup>abc</sup>	70.0±0.2 <sup>abcd</sup>
<i>Indica 1-16</i>	Agulha (aromático)	9.9	86.3±0.6 <sup>a</sup>	11.7±0.4 <sup>lmn</sup>	23.2±0.8 <sup>ab</sup>	76.8±0.8 <sup>ab</sup>	0.4±0.0 <sup>ab</sup>	8.8±0.8 <sup>abc</sup>	71.8±0.7 <sup>abcde</sup>
<i>Indica 11-1</i>	Agulha (aromático)	8.7	86.0±0.7 <sup>a</sup>	11.3±0.3 <sup>ijlmn</sup>	19.7±0.7 <sup>ab</sup>	80.3±0.7 <sup>ab</sup>	0.3±0.1 <sup>ab</sup>	8.2±1.4 <sup>abc</sup>	70.4±0.8 <sup>bcdefg</sup>
<i>Indica 11-2</i>	Agulha (aromático)	11.2	84.6±2.6 <sup>a</sup>	11.5±0.3 <sup>ghij</sup>	16.0±1.5 <sup>ab</sup>	90.0±1.5 <sup>ab</sup>	0.2±0.0 <sup>a</sup>	10.0±0.5 <sup>bc</sup>	67.2±1.4 <sup>abc</sup>
<i>Indica 12-2</i>	Agulha (aromático)	10.2	84.6±0.7 <sup>a</sup>	8.3±0.4 <sup>ghij</sup>	20.0±1.6 <sup>ab</sup>	80.0±1.6 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	9.3±1.1 <sup>abc</sup>	70.2±1.6 <sup>abcde</sup>
<i>Indica 17-16</i>	Agulha (aromático)	13.1	83.5±0.3 <sup>a</sup>	4.2±0.3 <sup>abcdef</sup>	10.1±0.3 <sup>ab</sup>	89.9±0.3 <sup>ab</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>	7.1±0.3 <sup>abc</sup>	80.3±0.7 <sup>fgh</sup>
<i>Indica 18-16</i>	Agulha (aromático)	14.9	79.1±1.6 <sup>a</sup>	5.4±0.1 <sup>defg</sup>	10.4±0.3 <sup>ab</sup>	89.6±0.3 <sup>ab</sup>	0.2±0.0 <sup>a</sup>	7.7±0.5 <sup>abc</sup>	74.7±0.5 <sup>bcdefg</sup>
<i>Comercial-M11</i>	Agulha (aromático)	11.1	82.8±3.3 <sup>a</sup>	1.4±0.1 <sup>ab</sup>	18.6±0.3 <sup>ab</sup>	81.4±0.3 <sup>ab</sup>	0.2±0.0 <sup>a</sup>	10.1±1.0 <sup>bc</sup>	84.0±2.1 <sup>gh</sup>
<i>Comercial-M12</i>	Agulha (aromático vaporizado)	10.3	82.9±0.9 <sup>a</sup>	1.5±0.1 <sup>ab</sup>	20.5±1.3 <sup>ab</sup>	79.6±1.3 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	9.6±1.5 <sup>abc</sup>	81.2±3.8 <sup>defgh</sup>
<i>Comercial-M16</i>	Agulha (aromático vaporizado)	10.0	79.1±0.8 <sup>a</sup>	10.2±0.7 <sup>hijlmn</sup>	22.7±0.3 <sup>ab</sup>	77.3±0.3 <sup>ab</sup>	0.4±0.0 <sup>ab</sup>	9.9±0.0 <sup>abc</sup>	83.1±5.1 <sup>h</sup>
<i>Comercial-R12</i>	Agulha (aromático)	10.7	87.1±1.2 <sup>a</sup>	13.1±0.4 <sup>n</sup>	22.9±2.3 <sup>ab</sup>	82.9±0.1 <sup>ab</sup>	0.5±0.0 <sup>ab</sup>	10.1±1.0 <sup>bc</sup>	66.9±0.2 <sup>abcde</sup>
<i>Comercial-R13</i>	Agulha (aromático)	9.7	92.5±0.8 <sup>a</sup>	11.3±0.3 <sup>ijlmn</sup>	20.3±0.1 <sup>ab</sup>	79.7±0.2 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	10.3±1.0 <sup>c</sup>	67.6±0.2 <sup>abc</sup>
<i>Comercial-PS</i>	Agulha (aromático)	9.4	78.4±0.7 <sup>a</sup>	9.1±0.3 <sup>ghijl</sup>	24.0±0.1 <sup>ab</sup>	76.0±0.1 <sup>ab</sup>	0.4±0.1 <sup>ab</sup>	9.0±0.7 <sup>abc</sup>	86.3±1.5 <sup>gh</sup>
<i>Japónica 1-12</i>	Carolino	12.1	88.9±0.6 <sup>a</sup>	9.6±0.2 <sup>hijlmn</sup>	6.7±0.5 <sup>a</sup>	93.3±0.5 <sup>b</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>	6.8±0.1 <sup>ab</sup>	68.0±1.7 <sup>abc</sup>
<i>Japónica 1-14</i>	Carolino	10.8	85.1±0.9 <sup>a</sup>	8.6±0.4 <sup>ghijlm</sup>	16.7±1.2 <sup>ab</sup>	83.4±0.9 <sup>ab</sup>	0.2±0.0 <sup>a</sup>	7.0±0.3 <sup>abc</sup>	67.4±2.1 <sup>abc</sup>
<i>Japónica 1-16</i>	Carolino	11.6	89.5±1.3 <sup>a</sup>	10.7±0.8 <sup>ijlmn</sup>	17.7±0.4 <sup>ab</sup>	82.34±0.4 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	7.1±0.6 <sup>abc</sup>	68.9±1.6 <sup>abcd</sup>
<i>Japónica 16-16</i>	Médio	13.0	93.8±2.6 <sup>a</sup>	12.7±0.7 <sup>no</sup>	16.7±1.5 <sup>ab</sup>	83.4±1.5 <sup>ab</sup>	0.2±0.0 <sup>ab</sup>	7.0±0.4 <sup>abc</sup>	71.9±1.5 <sup>abcde</sup>
<i>Japónica 16-4</i>	Médio	13.3	76.0±1.3 <sup>a</sup>	4.7±0.3 <sup>bcdef</sup>	8.7±0.4 <sup>ab</sup>	91.3±0.4 <sup>ab</sup>	0.1±0.0 <sup>ab</sup>	7.2±0.7 <sup>abc</sup>	74.8±2.4 <sup>bcdefg</sup>
<i>Japónica 17-15</i>	Médio	12.1	88.6±1.4 <sup>a</sup>	5.51±0.2 <sup>defg</sup>	22.1±0.5 <sup>ab</sup>	77.9±0.5 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	10.3±1.2 <sup>abc</sup>	72.4±0.7 <sup>abcdef</sup>
<i>Japónica 15-14</i>	Médio	10.3	77.1±1.6 <sup>a</sup>	9.8±0.8 <sup>hijlmn</sup>	17.0±0.8 <sup>ab</sup>	83.0±0.8 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	7.3±1.2 <sup>abc</sup>	81.0±0.6 <sup>defgh</sup>
<i>Japónica 15-16</i>	Médio	10.5	77.8±1.3 <sup>a</sup>	10.8±1.0 <sup>ijlmn</sup>	16.8±0.4 <sup>ab</sup>	83.2±0.4 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	8.3±0.3 <sup>a</sup>	74.3±2.3 <sup>bcdefg</sup>
<i>Japónica 15-E</i>	Médio	13.6	91.8±0.3 <sup>a</sup>	12.1±0.4 <sup>mn</sup>	16.4±0.1 <sup>ab</sup>	83.6±0.1 <sup>ab</sup>	0.2±0.0 <sup>a</sup>	7.5±0.1 <sup>abc</sup>	74.6±0.2 <sup>bcdefgh</sup>
<i>Indica 9-15</i>	Agulha	12.1	81.6±2.0 <sup>a</sup>	1.0±0.0 <sup>a</sup>	20.8±1.3 <sup>ab</sup>	79.2±1.3 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	10.3±1.2 <sup>abc</sup>	72.2±0.8 <sup>abcdef</sup>
<i>Indica 9-16</i>	Agulha	10.2	85.6±0.2 <sup>a</sup>	1.1±0.1 <sup>abcdef</sup>	21.2±0.7 <sup>ab</sup>	78.9±0.7 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	7.3±1.2 <sup>abc</sup>	72.4±1.6 <sup>abcdef</sup>
<i>Indica 10-16</i>	Agulha (vaporizado)	10.3	83.9±1.7 <sup>a</sup>	4.0±0.2 <sup>efg</sup>	21.7±0.1 <sup>ab</sup>	78.3±0.1 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>ab</sup>	8.3±0.3 <sup>abc</sup>	71.0±2.6 <sup>abcde</sup>

9.4 Caracterização química das variedades (com imersão durante 1 hora a temperatura ambiente)

<i>Amostra</i>	<i>Tipo</i>	<i>Humidade (%)</i>	<i>Amido total (% em matéria seca)</i>	<i>Amido resistente (% em matéria seca)</i>	<i>Amilose (% em matéria seca)</i>	<i>Amilopectina (% em matéria seca)</i>	<i>Amilose / Amilopectina</i>	<i>Proteína (% em matéria seca)</i>	<i>Índice Glicémico</i>
<i>Indica 6-16P</i>	Agulha (película)	22.4	69.0±0.5 <sup>ab</sup>	6.8±0.6 <sup>cdefghi</sup>	18.1±1.8 <sup>hijlm</sup>	81.9±1.8 <sup>abcd</sup>	0.2±0.0 <sup>ghi</sup>	8.8±0.0 <sup>bcdefgh</sup>	72.6±0.5 <sup>cdefg</sup>
<i>Indica 8-16P</i>	Agulha (película)	15.4	70.3±0.3 <sup>ab</sup>	5.4±0.1 <sup>defghijl</sup>	11.6±1.4 <sup>ab</sup>	88.4±1.4 <sup>l</sup>	0.1±0.0 <sup>ab</sup>	9.7±0.8 <sup>fgh</sup>	75.53±1.7 <sup>bcdefg</sup>
<i>Indica 7-I</i>	Agulha (película)	19.7	71.4±0.5 <sup>ab</sup>	8.0±0.5 <sup>ghijl</sup>	15.3±2.0 <sup>defghij</sup>	84.7±2.0 <sup>bcdefgh</sup>	0.2±0.0 <sup>cdefgh</sup>	10.2±0.5 <sup>h</sup>	64.9±1.45 <sup>ab</sup>
<i>Indica 7-NP</i>	Agulha (película)	17.3	72.8±1.2 <sup>ab</sup>	6.0±0.1 <sup>defghijl</sup>	13.6±0.1 <sup>abcde</sup>	86.4±0.1 <sup>ghijl</sup>	0.1±0.0 <sup>abcd</sup>	9.7±0.1 <sup>fgh</sup>	78.8±1.3 <sup>efg</sup>
<i>Indica 15-16P</i>	Agulha (película)	19.5	75.7±0.9 <sup>b</sup>	4.2±0.2 <sup>abcdef</sup>	13.7±0.0 <sup>bcdefg</sup>	86.3±0.0 <sup>efghij</sup>	0.2±0.0 <sup>abcdef</sup>	9.2±0.9 <sup>bcdefgh</sup>	74.1±0.8 <sup>abcdefg</sup>
<i>Japónica 1-16P</i>	Carolino (película)	24.3	71.1±0.6 <sup>ab</sup>	8.4±0.2 <sup>hijl</sup>	18.5±1.1 <sup>fghijl</sup>	81.6±1.1 <sup>abcdef</sup>	0.2±0.0 <sup>efg</sup>	7.3±0.9 <sup>abcde</sup>	71.9±1.7 <sup>abcdef</sup>
<i>Japónica 16-I</i>	Médio (película)	20.8	72.1±0.0 <sup>ab</sup>	5.4±0.3 <sup>cdefghijl</sup>	17.3±1.0 <sup>efghij</sup>	82.7±1.0 <sup>bcdefg</sup>	0.2±0.0 <sup>defgh</sup>	7.8±0.9 <sup>abcdef</sup>	66.2±0.5 <sup>abc</sup>
<i>Japónica 16-4P</i>	Médio (película)	21.1	70.9±2.0 <sup>ab</sup>	2.4±0.2 <sup>abcd</sup>	13.3±0.9 <sup>bcdefg</sup>	86.7±0.9 <sup>efghij</sup>	0.1±0.0 <sup>abcdef</sup>	8.0±0.3 <sup>abcdefg</sup>	75.7±0.6 <sup>bcdefg</sup>
<i>Indica 7-N</i>	Agulha	19.3	70.6±0.3 <sup>ab</sup>	5.5±0.4 <sup>cdefghijl</sup>	15.5±1.4 <sup>bcdefgh</sup>	84.5±1.5 <sup>defghij</sup>	0.2±0.0 <sup>bcdefg</sup>	8.3±0.3 <sup>abcdefg</sup>	71.62±0.7 <sup>abcdef</sup>
<i>Indica 8-16</i>	Agulha	22.1	72.1±0.5 <sup>ab</sup>	6.1±0.1 <sup>defghij</sup>	14.6±0.2 <sup>abcdef</sup>	85.4±0.2 <sup>fghijl</sup>	0.1±0.0 <sup>abcde</sup>	8.1±0.1 <sup>abcdefg</sup>	79.5±2.0 <sup>g</sup>
<i>Indica 15-16</i>	Agulha	22.0	78.6±3.0 <sup>ab</sup>	5.8±0.0 <sup>cdefghijl</sup>	14.2±2.4 <sup>cdefghi</sup>	85.9±2.4 <sup>cdefghi</sup>	0.2±0.1 <sup>bcdefg</sup>	8.2±0.7 <sup>abcdefg</sup>	72.6±0.8 <sup>abcdefg</sup>
<i>Indica 1-14</i>	Agulha (aromático)	28.7	64.3±1.3 <sup>a</sup>	9.2±0.5 <sup>jl</sup>	13.7±0.9 <sup>abcdef</sup>	86.3±0.9 <sup>fghijl</sup>	0.2±0.0 <sup>abcde</sup>	8.5±0.4 <sup>bcdefgh</sup>	83.6±0.5 <sup>fg</sup>
<i>Indica 1-16</i>	Agulha (aromático)	27.6	85.4±1.9 <sup>ab</sup>	7.8±0.3 <sup>efghijl</sup>	18.3±0.2 <sup>fghijl</sup>	81.1±0.2 <sup>abcdef</sup>	0.2±0.0 <sup>efgh</sup>	8.7±0.5 <sup>bcdefgh</sup>	71.6±2.8 <sup>abcdef</sup>
<i>Indica 11-1</i>	Agulha (aromático)	24.0	67.1±1.8 <sup>ab</sup>	2.4±0.1 <sup>abcd</sup>	21.4±2.2 <sup>jl</sup>	78.6±2.2 <sup>ab</sup>	0.3±0.0 <sup>hi</sup>	8.9±0.1 <sup>bcdefgh</sup>	77.9±2.4 <sup>cdefg</sup>
<i>Indica 11-2</i>	Agulha (aromático)	31.0	73.1±0.6 <sup>ab</sup>	8.4±0.2 <sup>hijl</sup>	16.9±0.6 <sup>defghij</sup>	83.1±0.6 <sup>bcdefgh</sup>	0.2±0.0 <sup>cdefgh</sup>	9.0±0.2 <sup>bcdefgh</sup>	71.2±0.9 <sup>abcdef</sup>
<i>Indica 12-2</i>	Agulha (aromático)	31.0	69.2±1.1 <sup>ab</sup>	4.5±0.2 <sup>abcdefg</sup>	19.6±0.8 <sup>hijl</sup>	80.4±0.8 <sup>abc</sup>	0.2±0.0 <sup>ghi</sup>	9.1±0.3 <sup>bcdefgh</sup>	73.3±0.6 <sup>abcdefg</sup>
<i>Indica 17-16</i>	Agulha (aromático)	23.7	72.4±0.1 <sup>ab</sup>	5.4±0.2 <sup>cdefghij</sup>	7.9±0.1 <sup>a</sup>	92.1±0.1 <sup>l</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>	7.9±0.5 <sup>cdefgh</sup>	71.9±0.5 <sup>abcdef</sup>
<i>Indica 18-16</i>	Agulha (aromático)	21.2	73.3±1.2 <sup>ab</sup>	5.1±0.4 <sup>bcdefgh</sup>	10.1±1.0 <sup>abc</sup>	89.9±1.0 <sup>ijl</sup>	0.1±0.0 <sup>ab</sup>	7.2±0.3 <sup>abcdefg</sup>	62.2±0.7 <sup>a</sup>
<i>Comercial-M11</i>	Agulha (aromático)	39.8	72.6±0.5 <sup>ab</sup>	1.2±0.2 <sup>ab</sup>	18.7±0.0 <sup>ghijl</sup>	81.3±0.0 <sup>abcde</sup>	0.2±0.0 <sup>fghi</sup>	10.0±0.3 <sup>abcd</sup>	64.3±2.4 <sup>ab</sup>
<i>Comercial-M12</i>	Agulha (aromático vaporizado)	39.4	74.7±1.9 <sup>ab</sup>	1.0±0.1 <sup>a</sup>	21.0±0.8 <sup>ijl</sup>	79.0±0.8 <sup>abc</sup>	0.3±0.0 <sup>hi</sup>	9.4±0.7 <sup>gh</sup>	64.6±2.1 <sup>ab</sup>
<i>Comercial-M16</i>	Agulha (aromático vaporizado)	28.7	84.2±1.0 <sup>ab</sup>	1.7±0.1 <sup>abc</sup>	13.3±0.2 <sup>abcdef</sup>	86.7±1.7 <sup>fghijl</sup>	0.2±0.0 <sup>abcde</sup>	9.3±0.1 <sup>efgh</sup>	69.1±1.0 <sup>abcde</sup>
<i>Comercial-R12</i>	Agulha (aromático)	28.3	69.5±1.6 <sup>ab</sup>	9.9±0.1 <sup>ijl</sup>	11.6±0.9 <sup>abc</sup>	88.4±0.9 <sup>ijl</sup>	0.1±0.0 <sup>abc</sup>	7.8±0.7 <sup>defgh</sup>	74.6±0.6 <sup>abcdefg</sup>
<i>Comercial-R13</i>	Agulha (aromático)	25.0	67.5±2.0 <sup>ab</sup>	9.1±0.7 <sup>ijl</sup>	23.3±1.6 <sup>l</sup>	76.8±1.6 <sup>abc</sup>	0.3±0.0 <sup>i</sup>	9.9±0.5 <sup>abcdef</sup>	69.3±0.0 <sup>abcdefg</sup>
<i>Comercial-PS</i>	Agulha (aromático)	31.2	72.8±1.4 <sup>ab</sup>	4.9±0.4 <sup>bcdefgh</sup>	19.5±0.6 <sup>ijl</sup>	80.5±0.6 <sup>abc</sup>	0.3±0.0 <sup>hi</sup>	9.4±0.2 <sup>efgh</sup>	69.4±1.1 <sup>abcd</sup>
<i>Japónica 1-14</i>	Carolino	29.3	75.3±0.2 <sup>ab</sup>	4.9±0.1 <sup>abcdefg</sup>	16.9±0.3 <sup>defghij</sup>	83.2±0.3 <sup>bcdefgh</sup>	0.2±0.0 <sup>cdefgh</sup>	7.4±1.1 <sup>abcde</sup>	77.8±3.1 <sup>cdefg</sup>
<i>Japónica 1-16</i>	Carolino	27.1	76.7±1.2 <sup>ab</sup>	2.5±0.2 <sup>abcd</sup>	14.6±0.1 <sup>bcdefgh</sup>	85.4±0.1 <sup>defghij</sup>	0.2±0.0 <sup>bcdefg</sup>	6.8±0.2 <sup>ab</sup>	78.5±1.2 <sup>defg</sup>
<i>Japónica 16-16</i>	Médio	23.9	69.7±1.4 <sup>ab</sup>	8.6±0.3 <sup>l</sup>	15.9±0.4 <sup>cdefghij</sup>	84.1±0.4 <sup>cdefghi</sup>	0.2±0.0 <sup>bcdefg</sup>	6.2±0.7 <sup>a</sup>	71.6±3.3 <sup>abcdef</sup>
<i>Japónica 16-4</i>	Médio	25.2	74.7±1.1 <sup>ab</sup>	4.5±0.4 <sup>abcde</sup>	11.8±0.6 <sup>abcd</sup>	88.3±0.6 <sup>hijl</sup>	0.1±0.0 <sup>abc</sup>	6.3±0.3 <sup>a</sup>	68.1±0.6 <sup>abcde</sup>